

Bericht aus dem
Institut für Baustoffkunde und Materialprüfung
der Technischen Hochschule Braunschweig



"Untersuchungen an Stahl- und Stahlbetondeckenkonstruktionen mit einem Feuer-schutz aus verschiedenen Putzarten"
(Grundlegende Versuche für DIN 4102 -
Widerstand von Baustoffen und Bauteilen
gegen Feuer und Wärme)

o. Prof. Dr.-Ing. habil. Th. Kristen
Oberingenieur Dipl.-Ing. P. Bornemann

Mai 1961

Die Arbeiten wurden ausgeführt im Auftrage des
Wiederaufbauministeriums Nordrhein-Westfalen

Az. Nr. A4 - 2.202 (42)

DK 699.81.001.5

1. Einleitung

Zur Zeit werden die DIN-Normen 4102, Bl. 1 bis Bl. 3 "Widerstandsfähigkeit von Baustoffen und Bauteilen gegen Feuer und Wärme", die noch aus dem Jahre 1940 stammen, überarbeitet. Das Normenblatt soll sich die neuesten, zahlreichen Erfahrungen der letzten Jahre des In- und Auslandes zu Nutze machen und sich möglichst den Vorschriften des Auslandes anpassen. Das Problem des Feuerschutzes ist in der letzten Zeit von besonderer Wichtigkeit für tragende Bauteile geworden, da in immer größerem Umfange möglichst leichte Konstruktionen angewendet werden, die gegen Feuer besonders empfindlich sind. Die folgenden Untersuchungen, die im Auftrage des Ministers für Wiederaufbau des Landes Nordrhein-Westfalen durchgeführt wurden, hatten das Ziel, die bisher in DIN 4102, Bl. 2 ohne besonderen Nachweis als "feuerhemmend" bzw. als "feuerbeständig" aufgeführten, durch Putz geschützte Bauteile, durch noch andere Putzarten zu ergänzen. Zu diesem Zweck wurden Putze mit verschiedenen Mischungsverhältnissen, Bindemitteln und Zuschlagstoffen untersucht.

Zunächst wurden Kleinbrandversuche an "Modellkörpern" durchgeführt. Mit den Putzen, die sich hier bewährt hatten, sollten dann Großversuche durchgeführt werden. Bei den Kleinbrandversuchen sind die verschiedenen Putzarten für sich allein und erst dann die gleichen Putze als Unterputz von kleinen, belasteten Stahlbetonplatten geprüft.

2. Kleinbrandversuche

2.1 Mit untergehängten Putzdecken

2.11 Versuchsanordnung und Durchführung der Versuche

Auf der Unterseite eines aus ungehobelten Brettern hergestellten rechteckigen Rahmens mit den Abmessungen 75 x 80 cm wurde lackiertes Rippenstreckmetall bzw. Rabetzgewebe als Putzträger genagelt. (s. Anlage 1). Auf diese Putzträger wurde der zu untersuchende Putz in einer Dicke von 3,0 cm (2 cm über Putzträger) in drei Lagen aufgebracht. Die der Einwirkung des Feuers bzw. der Strahlung der Heizplatte ausgesetzte Fläche des Putzes betrug etwa 58 x 58 cm. Der nach oben offene Holzrahmen wurde beim Versuch mit 5 cm dicken Stahlbetonplatten abgedeckt.

In dem hohlen Zwischenraum wurde jeweils ein 12 mm dicker Rundstahl (B. St. I) eingebaut. Beim Brandversuch lagen die Probekörper mit der Putzfläche nach unten als oberer horizontaler Raumabschluß auf der Öffnung des Öl-Brandofens bzw. bei einigen Vergleichsversuchen des Elektro-Ofens. Die Temperaturmessung erfolgte in 10 cm Entfernung von der zu prüfenden Fläche mit Ni Cr-Ni Thermoelementen; bei den Vergleichsversuchen zwischen Öl- und Elektro-Ofen betrug die Entfernung der Thermo-Elemente nur 6 cm. Zur Messung der Temperatur auf der dem Feuer abgekehrten Seite der Putzfläche und am Rundstahl wurden Cu-Konst.-Thermo-Elemente benutzt. Die 0,4 mm dicken Kupferplättchen von 1,0 x 2,5 cm² Größe wurden auf der Rückseite des Putzes etwa 1 mm über dem Putzträger befestigt und mit 4 mm dicken Asbestplättchen von 3 x 3,5 cm² Größe abgedeckt. (s. Anlage 1). Die Temperatur im Öl-Brandofen wurde während der Versuche 90 Minuten lang nach der Einheits-Temperaturkurve nach DIN 4102 gesteigert, nach Beendigung des Versuches das Gewicht des Probekörpers festgestellt und sofort die Löschwasser-Beanspruchung durchgeführt. Zur Feststellung des Einflusses der Feuerungsart (Öl-bzw. Elektro-Ofen) wurden einige Versuche mit beiden Öfen durchgeführt. Es war leider nicht möglich, bei dem Elektro-Ofen die Temperatur nach der Einheitstemperatur-Kurve einzuhalten. (s. Anlage 2). Um den Einfluß des Feuchtigkeitsgehaltes der Putze zu ermitteln, wurden einige Probekörper bei 40° bzw. 105° künstlich getrocknet und andere vor dem Versuch künstlich angefeuchtet.

2.12 Die angewendeten Putzarten

Es wurden untersucht:

- a) Natursand-Putze.
- b) Vermiculite-Putze.
- c) Perlite-Putze.
- d) Schlacken-Putze.
- e) Spezial-Putze.

Bindemittel, Zuschlagstoffe und Mischungs-Verhältnis wurden variiert, die Spezial-Putze von den jeweiligen Firmen selbst aufgebracht. Als Putz-Träger dienten Rippenstreckmetall und vergleichsweise Rabbitzgewebe. Die Übersicht der untersuchten Putze s. Zahlentafel 1.

Zahlentafel 1

Übersicht über die untersuchten Putze

Putzart		Mischungsverhältnis n. Rtl. a) 1.Schicht*) b) 2.Schicht c) 3.Schicht**)	Ver- suchs- körper Nr.	Bemerkungen
Natursandputze	Zement-Sand	1 : 3	1,2	
	Zement-Kalk-Sand	a) 1:0:3 b) 1:2:8 c) 1:2:8	3,4	
		a) 2:1:8 b) 1:2:8 c) 1:2:8	5-17	
	Mörtelgips-Stuckgips-Sand	1:0,1:0,5	18,19	
	Stuckgips-Kalk-Sand	0,2:1:3	20,21	
Vermiculite-Putze	Zement-Kalk-Vermiculite	a) 1,5:0,2:4,5 b) 1:0,2:4,5 c) 1:0,2:2	22-30	Körnung 0-2 mm 0-4 mm Körnung 0-2 mm
	Zement-Kalk-Vermiculite	1,5:2,5:7	31,32 33,34	Putz von Hand Als "Pyrok"-Spritzp.
	Mörtelgips-Vermiculite	a) 1 : 3 b) 1 : 4 c) 1 : 4	35,36	Kuhhaar-Zusatz nur bei a)
	Synth.Anhydrit-Vermiculite	1 : 3	37,38	Zusatz von "Reimers" Anreger
Perlite-Putze	Zement-Kalk-Perlite	a) 1,5:0,2:4,5 b) 1:0,2:4,5 c) 1:0,2:2	39,40	Perlite-Körnung Nr. 2
	Mörtelgips-Perlite	1 : 4	41,42	
	Synth.Anhydrit-Perlite	1 : 3	43,44	
Schlacken-Sand-Putze	Zement-Sand	1 : 3	45,46	
	Zement-Kalk-Sand	a) 1:0:3 b) 1:2:8 c) 1:2:8	47,48	
Spezial-Putze	Limpet LB9-Faser		49-51	Durch Spezialfirma aufgebracht
	Efawit E 700/200		52/53	Durch Spezialfirma aufgebracht
	Spezialputz auf Kalkbasis		58/59	
auf Rabitzgewebe erstellte Putze	Zement-Kalk-Sand	1:2:8	54,55	auf Rabitzgewebe
	Hartputzgips-Putz		56	10 Gew.% Stuckgips auf Rabitzgewebe
	Hochhydraul.Kalk-Sand	1 : 3	57	auf Rabitzgewebe

*) Ausdruckschicht

**) Glattschicht

2.13 Meßergebnisse und Beobachtungen

Etwa 8 bis 12 Wochen nach der Putzherstellung fanden die Brandversuche statt. Die vor den Versuchen ermittelten Raumgewichte, Feuchtigkeitsgehalte sowie die am Versuchsstück gemessenen Temperaturen sind in der Zahlentafel 2 zusammengestellt und in den Anlagen 3 bis 6 graphisch aufgetragen. Die Putzflächen haben sich wie folgt verhalten:

a) Putze mit Natursand (Nr. 1 bis 21)

Bei den zur Ermittlung des Einflusses der Feuerungsart mit Ölfeuerung und elektrischer Strahlplatte durchgeführten Versuchen konnten keine wesentlichen Unterschiede festgestellt werden (Anlage 3). Die Feuerschutzwirkung der Zement-Sand- und Zement-Kalk-Sand-Putze war etwa gleich groß. Die besten Ergebnisse hinsichtlich des Wärmedurchganges wurden bei den Mörtelgipsstuckgips-Sand-Putzen gefolgt von den Gipskalk-Sand-Putzen erzielt (Anl. 3).

Bei den Zement- und Zementkalk-Sand-Putzen traten während der Brandversuche einige Diagonalrisse an den Putzrändern auf.

Die der Feuereinwirkung direkt ausgesetzten Putzflächen blieben rissfrei, während sich bei den mit Gips bzw. Gipszusatz hergestellten Sandputzen auf der ganzen Fläche netzförmig verteilte Risse zeigten.

Durch die Löschwasserbeanspruchung wurde bei den mit Kalk hergestellten Sandputzen im Bereich der Feuereinwirkung Putz bis zu einer Dicke von 1,5 bis 2,0 cm herausgespült. Bei den Zement-Sand-Putzen platzten kleine Putzstücke heraus, während bei den Gips-Sand-Putzen der Putz bis auf eine geringe Verbreiterung der Risse ohne Beschädigungen blieb.

Die bei der Herstellung der Putze in einigen Versuchsstücken angebrachten Schlitzte in den Putzflächen verschlechterten die Isolierwirkung.

Zahlentafel 2
Versuchsergebnisse bei den Kleinbrandversuchen an Unterdecken

Nr.	Putzart (*) M.V. n. Rtl.	Raum- gewicht (**) kg/m ³	Feuchtig- keitsgehalt		Gew.d. Putzes (***) kg	Trocknung Anfeuchtg (****) T; t; F	Schlitz- breite mm	T e m p e r a t u r e n °C					
			Gew. %	Rtl. %				am Putz			am Rundstahl		
								30'	60'	90'	30'	60'	90'
1 +	Z:S = 1:3 n.Rtl	1880	1	1,9	33,06	T	-	265	405	461	102	227	290
2 +	"	1890	1	1,9	30,17	T	-	271	417	483	106	242	310
3 +	Z:K:S = 1:2:8 (Z:K:S = 1:3)	1835	1,2	2,2	29,38	T	-	297	410	450	122	248	288
4 +	"	1850	1,2	2,2	31,59	T	-	287	427	459	133	264	314
5 +	Z:K:S = 1:2:8 (Z:K:S = 2:1:8)	1870	1	1,9	30,57	T	-	312	443	483	125	270	334
6 +	"	1840	1	1,8	36,86	T	-	305	441	493	102	218	281
7 +	"	1900	1	1,9	30,00	T	-	343	463	505	155	276	322
8 +	"	1870	1	1,9	27,80	T	-	294	425	520	151	302	358
9	"	1865	11	20	32,45	F	-	428	572	-	189	353	-
10	"	1920	12	23	31,75	F	-	374	587	631	177	381	450
11	"	1790	1	1,8	27,14	T	-	313	449	513	163	309	379
12	"	1870	1	1,9	26,47	T	-	355	470	525	171	297	353

*) Putzmörtel zum Ausdrücken des Streckmetalls (Zeichenerklärung s. Seite 19)

**) Nach Trocknung bei 105°C (40°C der mit Gips hergestellten Putze) bis zur Gewichtskonstanz

***) Gewicht ohne Putzträger und Holzrahmen zu Beginn des Brandversuches

****) T = Trocknung bei 105°C; t = Trocknung bei 40°C; F = Künstl. Anfeuchtung des Putzes

+ s. Seite 6

Zahlentafel 2 (Fortsetzung)

Nr.	Putzart (*) M.V. n. Rtl.	Raum- gewicht (**) kg/m ³	Feuchtig- keitsgehalt		Gew.d. Putzes (***) kg	Trocknung Anfeuchtg (****) T; t; F	Schlitz- breite (*****) mm	T e m p e r a t u r e n °C					
			Gew. %	Rtl. %				am Putz			am Rundstahl		
								30'	60'	90'	30'	60'	90'
13	Z:K:S = 1:2:8 (Z:K:S = 2:1:8)	1810	3,2	5,8	28,83		2	333	504	578	152	314	388
14	"	1845	3,6	6,7	29,80		3	338	482	533	141	303	364
15	"	1830	2,9	5,3	28,90		2	380	489	547	208	321	376
16	"	1820	2,9	5,3	29,37		3	379	511	548	197	327	385
17	"	1830	2,7	4,9	30,35		3	336	501	549	199	348	408
18	M:St:S=1:0,1:0,5	1635	0	0	27,14	t		111	337	398	65	151	220
19	"	1600	0	0	27,97	t		95	262	378	60	132	221
20	St:K:S=0,2:1:3	1735	1	1,7	28,95	t		257	399	445	93	221	273
21	"	1730	1	1,7	27,84	t		237	396	449	95	238	301
22	Z:K:V=1,0:0,2:4,5 (Z:K:V=1,5:0,2:4,5)	659	12,4	8,2	13,03			113	312	358	79	166	223
23	"	672	12,1	8,2	13,59			96	250	322	74	117	197
24	"	665	2	1,3	10,51	T		213	316	350	95	178	223

*)bis ****) s.Seite 5.

****) Bei der Putzherstellung in der Mitte der Putzfläche von Rand zu Rand durchgehend angeordnet.

+ Die Heiztemperaturen wurden bei den Putzkörpern Nr. 1 - 8 und 18 - 21 nach der "Heiztemperaturkurve Elektro-Öl", bei allen übrigen Putzkörpern nach der "Einheitstemperaturkurve DIN 4102" gesteuert.

Nr.	P u t z a r t (*) M.V. n. Rtl.	Raum- gewicht (**) ³ kg/m	Feuchtig- keitsgehalt		Gew.d. Putzes (***) kg	Trocknung Anfeuchtg (****) T; t; F	Schlitz- breite (*****) mm	T e m p e r a t u r e n °C					
			Gew. %	Rtl. %				am Putz			am Rundstahl		
								30'	60'	90'	30'	60'	90'
25	Z:K:V=1,0:0,2:4,5 (Z:K:V=1,5:0,2:4,5)	662	2	1,3	10,40	T		209	328	362	90	188	230
26	"	615	35	21,5	16,05	F		90	122	324	85	93	179
27	"	625	35	21,8	16,41	F		88	119	324	80	86	167
28	"	665	15	10	12,15	F		102	331	393	89	173	255
29	"	633	1	0,6	9,92	T	2	277	393	443	168	291	356
30	"	605	10	6	11,76		2	189	375	414	115	248	300
31	Z:K:V=1,5:2,5:7	640	9	5,7	11,45			161	318	355	79	179	232
32	"	655	0	0	9,00	T		258	339	375	108	202	244
33	" (Pyrok)	nicht ermittelt						87	247	351	54	130	206
34	" (Pyrok)		"	"		T		135	285	356	82	170	223
35	M:V = 1 : 3 (M:V = 1 : 4)	343	1,5	0,6	5,72			233	301	342	98	177	222
36	"	382	1,5	0,6	5,52			257	341	368	87	200	239

*)bis****) s.Seite 5
 *****) s.Seite 6

Zahlentafel 2 (Fortsetzung)

Nr.	Putzart (*) M.V. n. Rtl.	Raum- gewicht (**) kg/m ³	Feuchtig- keitsgehalt		Gew.d. Putzes (***) kg	Trocknung Anfeuchtg (****) T; t; F	Schlitz- breite (*****) mm	T e m p e r a t u r e n °C					
			Gew. %	Rtl. %				am Putz			am Rundstahl		
								30'	60'	90'	30'	60'	90'
37	s.A.:V = 1:3	580	1	0,6	10,06			201	379	406	73	209	252
38	"	605	0	0	9,44	t		265	382	425	104	224	275
39	Z:K:P=1,0:0,2:4,5 (Z:K:P=1,5:0,2:4,5)	575	6,8	3,9	10,00			129	365	394	77	206	254
40	"	615	1	0,6	9,85			285	398	438	119	229	273
41	M:P = 1 : 4 (M:P = 1 : 3)	420	1	0,4	6,94			172	337	360	67	175	215
42	"	462	0	0	6,62	t		155	344	373	66	191	232
43	s.A.:P = 1:3	920	0,1	0,1	14,41			281	455	496	87	238	291
44	"	950	0	0	14,88	t		202	416	451	74	231	287
45	Z:Sch = 1:3	1810	3,9	7,1	28,42			223	450	499	93	280	348
46	"	1850	0	0	28,02	T		249	409	468	95	235	303
47	Z:K:Sch=1:2:8 (Z:K:Sch=2:2:8)	1680	4	6,7	25,92			263	437	498	105	263	328
48	"	1690	0	0	22,43	T		324	460	533	154	302	379

*)bis ****) s. Seite 5

*****) s. Seite 6

Zahlentafel 2 (Fortsetzung)

Nr.	P u t z a r t *) M.V. n. Rtl.	Raum- gewicht **) kg/m ³	Feuchtig- keitsgehalt Gew.% Rtl.%		Gew.d. Putzes ***) kg	Trocknung Anfeuchtg. ****) T; t; F	Schlitz- breite *****) mm	T e m p e r a t u r e n °C					
								am Putz			am Rundstahl		
								30'	60'	90'	30'	60'	90'
49	Limpet LB9 Faser	308	0	0	6,55	T		49	80	123	-	-	-
50	"	400	16	6,4	8,80	F		59	80	83	-	-	-
51	"	462	5	2,3	10,40			63	83	133	-	-	-
52	Efawit	372	0	0	6,44	T		117	229	269	-	-	-
53	"	430	5,5	2,4	9,84			60	79	149	-	-	-
54	"	1720	2,4	4,1	32,00			344	455	554	142	283	358
55	Z:K:S = 1:2:8	1820	2,5	4,6	30,98			344	520	566	146	302	377
56	HG:St = 1:0,1	1490	1,0	1,5	24,71			98	100	320	78	97	190
57	HK:S = 1:3	1870	2	3,7	31,06			341	511	550	143	316	373
58	Spezialputz auf Kalkbasis	765	3,8		13,07			189	302	351	61	151	208
59	"	770	6,8		14,61			111	298	349	61	122	189

*) bis ****) s. Seite 5

*****) s. Seite 6

*) Z = Zement

K = Kalk

S = Sand

M = Mörtelgips

St = Stuckgips

V = Vermiculite

s.A. = synth. Anhydrit

P = Perlite

Sch = Schlackensand

HG = Hartputzgips

HK = Hochhydraul. Kalk

b) Vermiculite-Putze (Nr. 22 bis 38)

Bei den verschiedenen Mischungsverhältnissen waren hinsichtlich der Isolierwirkung keine großen Unterschiede festzustellen. (Anl. 4). Der verschieden große Feuchtigkeitsgehalt der Putze veränderte die Isolierwirkung. Durch die Verdampfung der Feuchtigkeit der Putze wurde der Temperaturanstieg auf der dem Feuer abgekehrten Seite der Putze hinausgezögert. Besonders groß war der Temperaturunterschied zwischen feuchten und trockenen Putzen etwa zwischen 40. und 70. Versuchsminute. Die Schlitzte in den Putzen verschlechterten die Isolierwirkung der Putze erheblich.

Durch die Löschwasserbeanspruchung wurden bei den Zementkalk-Vermiculite-Putzen, 1 : 0,2 : 4,5 n. Rtl. die Putze nicht beschädigt, während bei den Zementkalk-Vermiculite-Putzen, 1,5 : 2,5 : 7 n. Rtl., kleine Putzstücke abplatzten. Die Festigkeit der Mörtelgips-Vermiculite-Putze war sehr gering, so daß durch das Löschwasser große Putzstücke teilweise bis auf das Streckmetall herausgespült wurden.

c) Perlite Putze (Nr. 39 bis 44)

Die beste Isolierwirkung wurde durch die Mörtelgips-Perlite-Putze erzielt. Allerdings spülte das Löschwasser den Putz bis auf das Streckmetall heraus. Hinsichtlich der Widerstandsfähigkeit gegen Löschwasserbeanspruchung erwiesen sich die mit Zementkalk und Synth. Anhydrit hergestellten Perlite-Putze als die besten. Es entstanden keine Beschädigungen.

d) Schlackensand - Putze (Nr. 45 bis 48)

Die Isolierwirkung war, wenn man von dem Einfluß des Feuchtigkeitsgehaltes absieht bei allen Putzen etwa gleich groß. Durch die Löschwasserbeanspruchung platzten bei den Zementkalk-Putzen kleine Putzstücke ab, während die Zementputze unversehrt blieben. (Vergl. Anlage 5)

e) Limpet- und Efawit-Putze (Nr. 49 bis 53 und 54 bis 55)

Die Ergebnisse hinsichtlich der Isolierfähigkeit waren bei den Limpet-Putzen etwas günstiger als bei den Efawit-Putzen.

Außerdem waren die durch das Löschwasser hervorgerufenen Beschädigungen bei den Efawit-Putzen größer als bei den Limpet-Putzen. (Anlage 6)

f) Sand- bzw. Gipsputze auf Rabitzdrahtgewebe (Nr. 54 bis 57)

Das weitaus günstigste Ergebnis sowohl hinsichtlich der Isolierfähigkeit als auch der Widerstandsfähigkeit bei der Löschwasserbeanspruchung wurde durch den Gips-Putz erzielt. Die übrigen Putze wurden durch das Löschwasser bis zum Putzträger herausgespült, während aus dem Gipsputz nur kleine Stücke herausplatzten.

In den Abbildungen 1 bis 10 sind die Putzkörper nach dem Brandversuch bzw. nach der Löschwasserprobe dargestellt.

2.2 Kleinbrandversuche an 7 cm dicken verputzten Stahlbetonplatten

2.21 Versuchsanordnung und Durchführung

Facharbeiter des Instituts stellten 7 cm dicke mit Betonstahl III b (Torstahl) bewehrte Stahlbetonplatten von 1,65 m Länge und 0,5 mm Breite her. In jede Platte wurden in der Zugzone drei Stäbe $\varnothing 6$ III b eingelegt und der mittlere an den beiden Enden aufgebogen. Die Querbewehrung bestand jeweils aus 5 Stäben \varnothing III b - Torstahl - im Abstand von 35 cm.

Zur Temperaturmessung an den Stahleinlagen waren an zwei Stählen Cu-Konst.-Thermoelemente angelötet. Die Überdeckung der Stahleinlagen betrug 1,0 cm.

Anordnung der Bewehrung, Lage der Temperaturmeßstellen, sowie Abmessungen der Versuchsplatten siehe Anlage 7.

Für den Beton wurde Portlandzement Z 375 nach DIN 1164 mit Zuschlagstoffen getrennter Körnung verwendet.

Die Kornzusammensetzung wurde so gewählt, daß die Sieblinie im besonders guten Bereich lag.

Gleichzeitig mit jeder Platte wurde ein Probewürfel von 20 cm Kantenlänge hergestellt. Die daran ermittelte Würfel-festigkeit W_{28} ergab bis auf zwei Ausnahmen einen B 300.

2.22 Untersuchte Putzarten

Nach dem Ausschalen wurden die Platten von Hand über Kopf zunächst mit einem Spritzvorwurf aus Zementmörtel (MV 1:4 n. Rtl.) und danach mit einer 1,5 cm dicken Putzschicht versehen. Jeweils zwei Platten erhielten dabei den gleichen Putz. Es wurden folgende Putzarten verwendet:

Zahlentafel 3

Übersicht über die an den Stahlbetonplatten untersuchten Putze

Putzart	Misch.Verh. Rtl.	Versuchs- körper Nr.	Bemerkung
Zement-Sand	1 : 3	1,2	Natursand- Putze
Gips-Sand	1:0,5	3,4	
Zement-Kalk-Sand	1:2:8	5,6	
Zement-Sand	1:3	7,8	Schlackensand- Putze
Zement-Kalk-Sand	1:2:8	9,10	
Zement-Kalk-Verm.	1,5:0,2:4,5	11,12	Vermiculite- Putze
Zement-Kalk-Verm.	1,5:2,5:7,0	13,14	
Gips-Vermiculite	1:1	15,16	
Gips-Perlite	1:1	17,18	Perlite-Putze
Zement-Kalk-Perlite	1:0,2:4,5	19,20	
Zement-Kalk-Perlite	1,5:2,5:7	21,22	
Spezialputz auf Kalkbasis		23,24	Spezial-Putze
Mit Portland- Zement Z 375 hergestellt	B 160	25,26	Unverputzte Stahlbeton- platten
	B 225	27,28	
	B 300	29,30	
	B 450	33,34	
Mit Torerde- Schmelzzement	B 450	33,34	

2.23 Meßergebnisse und Beobachtungen

Am Tage des Brandversuches wurden die zu prüfenden Betonplatten mit einer Stützweite von 1,5 m als oberer Raumabschluß in ein Brandhaus eingebaut. An ihren Längsrändern waren die Platten frei gelagert, so daß eine einwandfreie Deformation unter der Last und infolge der Temperaturen möglich war. Nach DIN 4102 wurde vor dem Brandversuch die Platte mit der rechnerisch zulässigen Last in Feldmitte belastet. Dabei wurde die Bewehrung abweichend von DIN 1045 im Hinblick auf die späteren Großversuche mit einer zulässigen Spannung von $\sigma_{zul} = 2400 \text{ kg/cm}^2$ beansprucht. Die aufgebrachte Belastung erzeugte mit dem Eigengewicht der Platte ein Moment das dem zulässigen Biegemoment entsprach.

Zur Temperaturmessung im Brandhaus wurden zwei NiCr-Ni-Thermoelemente benutzt. Die Messung der auf der dem Feuer abgekehrten Seite auftretenden Temperaturen erfolgte durch zwei Cu-Konst.-Thermoelemente, die zur Verhinderung einer Wärmeabstrahlung mit Asbestplättchen abgedeckt wurden. Die Durchbiegung wurde an jedem Plattenlängsrand mit einem Meßstab ermittelt.

Die bei den Brandversuchen gemessenen Temperaturen und Deformationen sind als Mittelwerte in den nachfolgenden Zahlentafeln 4 - 9 zusammengestellt. Dabei sind die Werte nur von größeren Zeitabschnitten aufgeführt, während die graphischen Darstellungen der Anlagen 8 bis 13 die Mittelwerte sämtlicher Einzelmessungen enthält. Zur Vervollständigung sind noch Alter, Feuchtigkeitsgehalt und Raumgewicht der Putze in den Zahlentafeln angegeben.

Die Versuche wurden jeweils bis zum Versagen der Betonplatten geführt.

4.41 Meßergebnisse bei den Brandversuchen an Sandputzen

Zahlentafel 4

Versuchsk.	1						2						3						4						5						6					
	Zement-Sand-Putz MV: 1:3 n.Rtl.						Gips-Sand-Putz MV: 1:0,5 n.Rtl.						Kalkzementputz MV: 1:0,5 n.Rtl.						Kalkzementputz MV: 2:1:8 n.Rtl.																	
Alter Feucht. Raung.	4 Wochen 5,7 Gew. % 1800 kg/m ³			11 Wochen 3,5 Gew. % 1890 kg/m ³			4 Wochen 19 Gew. % 1450 kg/m ³			12 Wochen 10 Gew. % 1360 kg/m ³			5 Wochen 5,45 Gew. % 1735 kg/m ³			12 Wochen 3 Gew. % 1720 kg/m ³																				
Ver- suchs- dauer (Min.)	a. Temp. °C Stahl	Temp. auf d. d. Feuer abgek. Seite °C	Durch- biegung cm	a. Temp. °C Stahl	Temp. auf d. d. Feuer abgek. Seite °C	Durch- biegung cm	a. Temp. °C Stahl	Temp. auf d. d. Feuer abgek. Seite °C	Durch- biegung cm	a. Temp. °C Stahl	Temp. auf d. d. Feuer abgek. Seite °C	Durch- biegung cm	a. Temp. °C Stahl	Temp. auf d. d. Feuer abgek. Seite °C	Durch- biegung cm	a. Temp. °C Stahl	Temp. auf d. d. Feuer abgek. Seite °C	Durch- biegung cm																		
0	-	-	0,30	-	-	0,45	-	-	0,25	-	-	0,05	-	-	0,10	-	-	0,10																		
15	108	34	0,50	90	18	0,85	67	6	0,50	65	14	0,55	72	7	0,45	101	12	0,65																		
30	302	92	1,70	182	45	1,45	96	31	0,50	99	38	0,55	-	-	-	214	39	1,05																		
60	437	113	2,90	415	81	2,80	205	61	1,00	179	69	0,85	291	79	1,80	416	89	2,35																		
90				531	106	4,45	308	75	1,75	273	89	1,50	431	89	3,25	535	106	3,80																		
120							384	86	2,40	343	108	2,05	529	-	4,80																					
150							464	130	3,25	413	151	2,80																								
180							535	220	5,20	468	204	3,70																								
210										519	-	5,00																								
Bruch	552	161	4,25	570	-	5,30	-	-	5,90	525	-	5,35	617	-	6,25	596	-	5,50																		

4.42 Meßergebnisse bei den Brandversuchen an Betonplatten
mit Schlackensandputzen

Zahlentafel 5

Versuchskörper: 7				8			9			10		
Alter Feucht. Raumgew.	Zement-Schlackensandputz (MV: 1:3 n.Rtl.)						Kalk-Zement-Schlackensandputz (MV: 2:1:8 n.Rtl.)					
	2,5 Wochen 2,5 Gew. % 1785 kg/m ³			12 Wochen 10 Gew. % 1700 kg/m ³			4 Wochen 3,7 Gew. % 1660 kg/m ³			12 Wochen 2,8 Gew. % 1658 kg/m ³		
Versuchs- dauer (Min.)	Temp. am Stahl °C	Temp. auf d. d. Feuer abgek. Seite °C	Durch- biegung cm	Temp. am Stahl °C	Temp. auf d. d. Feuer abgek. Seite °C	Durch- biegung cm	Temp. am Stahl °C	Temp. auf d. d. Feuer abgek. Seite °C	Durch- biegung cm	Temp. am Stahl °C	Temp. auf d. d. Feuer abgek. Seite °C	Durch- biegung cm
0	-	-	0,10	-	-	-	-	-	0,05	-	-	0,10
15	85	10	0,50	74	11	0,50	42	8	0,30	93	19	0,60
30	123	40	0,65	111	41	0,60	96	25	0,45	112	50	0,60
60	263	67	1,10	258	80	1,25	192	59	0,75	247	72	1,35
90	366	83	1,90	369	88	2,10	292	82	1,45	351	78	2,25
120	452	111	2,65	465	114	3,05	386	96	2,20	435	105	3,10
150	520	164	3,55	539	184	4,00	452	130	3,00	514	167	4,15
180	580	-	4,75	585	-	5,60	507	184	4,00	564	-	5,70
210	-	-	-	-	-	-	527	-	5,05	-	-	-
Bruch	191. Min.			186. Min.			212. Min.			182. Min.		
	609	-	5,45	597	-	6,40	529	-	5,35	600	-	6,40

4.43 Meßergebnisse bei den Brandversuchen an Betonplatten
mit Vermiculite-Putzen

Zahlentafel 6

Versuchsk.	11	12	13	14	15	16												
	Zement-Kalk-Vermiculite (1,5:0,24,5)						Zement-Kalk-Vermiculite(1,5:2,5:7)						Gips-Vermiculite-Putz (1:1)					
Alter Feucht. Raumg.	4 Wochen 23 Gew. % 565 kg/m ³			12 Wochen 4,5 Gew. % 635 kg/m ³			4 Wochen 19 Gew. % 610 kg/m ³			12 Wochen 3,9 Gew. % 690 kg/m ³			4 Wochen 21 Gew. % 712 kg/m ³			12 Wochen 7,2 Gew. % 733 kg/m ³		
Ver- suchs- dauer (Min.)	a. Temp. Stahl °C	Temp. auf d. d. Feuer abgek. Seite °C	Durch- biegung cm	a. Temp. Stahl °C	Temp. auf d. d. Feuer abgek. Seite °C	Durch- biegung cm	a. Temp. Stahl °C	Temp. auf d. d. Feuer abgek. Seite °C	Durch- biegung cm	a. Temp. Stahl °C	Temp. auf d. d. Feuer abgek. Seite °C	Durch- biegung cm	a. Temp. Stahl °C	Temp. auf d. d. Feuer abgek. Seite °C	Durch- biegung cm	a. Temp. Stahl °C	Temp. auf d. d. Feuer abgek. Seite °C	Durch- biegung cm
0	-	-	0,10	-	-	0,05	-	-	0,05	-	-	0,05	-	-	0,10	-	-	0,15
15	52	-	0,30	61	6	0,45	92	12	0,45	63	11	0,45	57	13	0,35	58	13	0,40
30	75	21	0,35	90	27	0,45	95	31	0,45	97	31	0,45	95	28	0,35	99	31	0,55
60	125	43	0,40	160	64	0,55	144	67	0,45	179	67	0,65	146	62	0,45	196	69	0,85
90	215	71	0,75	242	77	1,00	227	82	0,75	252	88	1,20	235	76	0,85	289	84	1,55
120	286	82	1,25	310	88	1,50	293	109	1,25	328	94	1,80	305	88	1,35	362	97	2,15
150	346	89	1,65	378	107	2,10	362	132	1,75	406	132	2,50	370	112	1,75	442	133	2,70
180	414	114	2,15	450	140	2,70	435	174	2,35	482	179	3,40	434	143	2,25	508	182	3,40
210	464	158	2,65	499	168	3,50	489	200	2,90	-	-	-	477	178	2,80	571	198	4,30
240	494	205	3,10	529	200	4,00	529	224	3,50	-	-	-	523	204	3,45	589	-	-
270	530	229	3,70	-	-	-	561	248	4,30	-	-	-	562	221	4,30	-	-	-
300	560	-	4,40	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Bruch	311. Min. Bruch 570 - 5,00			255. Min. Bruch 547 - 4,65			290. Min. Bruch 575 - 4,85			215. Min. Bruch 590 202 4,25			280. Min. Bruch 595 - 5,30			240. Min. Bruch - - 4,80		

4.44 Meßergebnisse bei den Brandversuchen an Betonplatten
mit Perlite-Putzen

Zahlentafel 7

Versuchsk.	17						18						19						20						21						22					
	Gips-Perlite-Putz (1:1)						Zement-Kalk-Perlite-Putz (1:0,2:4,5)						Zement-Kalk-Perlite-Putz (1,5:2,5:7)																							
Alter	4 Wochen						12 Wochen						4 Wochen						12 Wochen						6 Wochen						13 Wochen					
Feucht.	15,3 Gew. %						1,2 Gew. %						12 Gew. %						1,6 Gew. %						13 Gew. %						1,4 Gew. %					
Raumg.	750 kg/m ³						765 kg/m ³						850 kg/m ³						919 kg/m ³						790 kg/m ³						812 kg/m ³					
Ver- suchs- dauer (Min.)	a.	Temp.	Durch- biegung	a.	Temp.	Durch- biegung	a.	Temp.	Durch- biegung	a.	Temp.	Durch- biegung	a.	Temp.	Durch- biegung	a.	Temp.	Durch- biegung	a.	Temp.	Durch- biegung	a.	Temp.	Durch- biegung	a.	Temp.	Durch- biegung	a.	Temp.	Durch- biegung						
	Temp.	auf d.		Temp.	auf d.		Temp.	auf d.		Temp.	auf d.		Temp.	auf d.		Temp.	auf d.		Temp.	auf d.		Temp.	auf d.		Temp.	auf d.		Temp.	auf d.		Temp.	auf d.	Temp.	auf d.	Temp.	auf d.
	Stahl	d. Feuer		Stahl	d. Feuer		Stahl	d. Feuer		Stahl	d. Feuer		Stahl	d. Feuer		Stahl	d. Feuer		Stahl	d. Feuer		Stahl	d. Feuer		Stahl	d. Feuer		Stahl	d. Feuer		Stahl	d. Feuer				
	°C	Seite	cm	°C	Seite	cm	°C	Seite	cm	°C	Seite	cm	°C	Seite	cm	°C	Seite	cm	°C	Seite	cm	°C	Seite	cm	°C	Seite	cm	°C	Seite	cm	°C	Seite	cm			
0	-	-	0,10	-	-	0,15	-	-	0,10	-	-	0,05	-	-	0,05	-	-	0,05	-	-	0,10	-	-	0,10	-	-	0,10	-	-	0,10	-	-	0,10			
15	56	18	0,35	59	15	0,50	55	7	0,45	78	18	0,55	48	-	0,35	68	16	0,50	48	-	0,35	68	16	0,50	48	-	0,35	68	16	0,50	48	-	0,35	68	16	
30	88	29	0,40	97	30	0,55	97	24	0,45	96	38	0,55	95	17	0,50	98	33	0,55	95	17	0,50	98	33	0,55	95	17	0,50	98	33	0,55	95	17	0,50	98	33	
60	149	63	0,45	161	68	0,70	177	64	0,75	192	71	0,80	145	67	0,80	174	69	0,70	145	67	0,80	174	69	0,70	145	67	0,80	174	69	0,70	145	67	0,80	174	69	
90	224	79	0,80	260	80	1,40	274	78	1,25	279	83	1,45	240	73	1,15	261	85	1,40	240	73	1,15	261	85	1,40	240	73	1,15	261	85	1,40	240	73	1,15	261	85	
120	298	88	1,30	339	92	1,95	356	93	1,80	349	100	1,90	304	83	1,65	335	98	1,90	304	83	1,65	335	98	1,90	304	83	1,65	335	98	1,90	304	83	1,65	335	98	
150	367	104	1,80	412	122	2,50	422	120	2,40	417	139	2,50	370	109	2,15	424	136	2,55	370	109	2,15	424	136	2,55	370	109	2,15	424	136	2,55	370	109	2,15	424	136	
180	437	137	2,35	485	168	3,15	483	162	3,15	479	188	3,20	423	144	2,70	-	187	3,15	423	144	2,70	-	187	3,15	423	144	2,70	-	187	3,15	423	144	2,70	-	187	
210	497	181	3,20	536	204	4,30	540	197	4,05	539	-	4,50	482	189	3,45	-	-	3,15	482	189	3,45	-	-	3,15	482	189	3,45	-	-	3,15	482	189	3,45	-	-	
240	542	-	4,10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	544	210	4,80	-	-	-	544	210	4,80	-	-	-	544	210	4,80	-	-	-	544	210	4,80	-	-	
Bruch	267. Min. Bruch						229. Min. Bruch						231. Min. Bruch						217. Min. Bruch						251. Min. Bruch						208. Min. Bruch					
	595	-	5,25	553	-	5,00	570	-	5,05	555	-	4,90	575	-	5,30	-	-	3,80	575	-	5,30	-	-	3,80	575	-	5,30	-	-	3,80	575	-	5,30	-	-	

4.45 Meßergebnisse bei den Brandversuchen an Betonplatten
mit Spezialputz auf Kalkbasis

Zahlentafel 8

Versuchskörper: 23

24

Alter Feucht. Raumg.	Spezialputz auf Kalkbasis					
	2,3 Gew. % 800 kg/m ³			12 Wochen 0,6 Gew. % 930 kg/m ³		
Ver- suchs- dauer (Min.)	Temp.a. Stahl °C	Temp. auf d. d.Feuer abgek. Seite °C	Durch- biegung cm	Temp.a. Stahl °C	Temp. auf d. d.Feuer abgek. Seite °C	Durch- biegung cm
0	-	-	0,15	-	-	0,10
5	33	-	0,25	26	-	0,15
10	38	-	0,35	43	-	0,25
15	52	6	0,40	54	13	0,25
30	92	27	0,45	95	26	0,40
60	148	64	0,65	154	57	0,60
90	222	77	1,20	231	70	1,10
120	284	88	1,75	296	80	1,65
150	343	107	2,40	356	97	2,10
180	407	140	3,00	409	132	2,60
210	459	168	3,50	450	170	2,90
240	504	200	4,35	493	195	3,35
270	-	-	-	521	209	4,20
Bruch	249. Min. Bruch			298. Min. Bruch		
	518	-	-	565	-	-

4.46 Meßergebnisse bei den Brandversuchen an
unverputzten Betonplatten

Zahlentafel 9

Versuchsk.	25			26			27			28			29		
	B 160 *)			B 225 *)			B 300 *)			B 450 (Portlandzement)			B 450 (Tonerde-Schmelzzement)		
Alter W28	4 Wochen 136 kg/cm ²			4,5 Wochen 265 kg/cm ²			4 Wochen 327 kg/cm ²			4 Wochen 378 kg/cm ²			4 Wochen 623 kg/cm ²		
Ver- suchs- dauer (Min.)	Temp. am Stahl	Temp. auf d. d. Feuer abgek. Seite °C	Durch- biegung cm	Temp. am Stahl °C	Temp. auf d. d. Feuer abgek. Seite °C	Durch- biegung cm	Temp. am Stahl °C	Temp. auf d. d. Feuer abgek. Seite °C	Durch- biegung cm	Temp. am Stahl °C	Temp. auf d. d. Feuer abgek. Seite °C	Durch- biegung cm	Temp. am Stahl °C	Temp. auf d. d. Feuer abgek. Seite °C	Durch- biegung cm
0	-	-	0,20	-	-	0,10	-	-	-	-	-	0,15	-	-	0,05
5	90	-	0,95	97	15	0,90	96	-	0,85	96	-	0,80	85	-	0,80
10	141	12	1,65	162	23	1,15	121	16	1,00	103	17	0,95	132	19	1,00
15	227	23	1,90	236	41	1,70	180	28	1,50	169	33	1,20	180	29	1,35
20	295	46	2,25	312	53	2,15	266	42	2,20	256	44	1,90	233	44	1,85
25	354	58	2,55	376	65	2,70	341	54	2,80	337	68	2,25	275	57	2,25
30	406	68	2,90	421	71	3,15	414	66	3,40	383	70	2,55	322	68	2,60
40	501	78	3,95	518	81	4,25	517	79	4,75	465	90	3,40	401	87	3,55
50	575	-	4,35	549	89	5,05	-	-	-	544	95	4,45	480	99	4,80
60	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	547	-	-
Bruch	53. Min. Bruch 580 - -			48. Min. Bruch - - -			44. Min. Bruch 552 - -			55. Min. Bruch 596 - -			60. Min. Bruch 547 - -		

*) Portlandzement Z 375

2.3 Zusammenfassung der Ergebnisse

Bei den Kleinbrandversuchen der untergehängten Putzdecken und an verputzten Stahlbetonplatten haben sich gleiche Putze etwa gleich verhalten. Um die ermittelten Versuchsergebnisse zu überprüfen und ihr Verhalten bei Großkonstruktionen kennenzulernen, wurden die besten Putze bei größeren Stahl- und Stahlbetonkonstruktionen verwendet.

2.31 Kleinbrandversuche an Unterdecken

Hinsichtlich des Verhaltens gegen Feuer ergibt sich die folgende Reihenfolge:

- a. Limpet - Putze
- b. Efawit - Putze
- c. Vermiculite - Putze
- d. Spezialputz auf Kalkbasis
- e. Perlite - Putze
- f. Sandputze

Die von Spezialfirmen hergestellten Limpet- und Efawit-Putze waren jedoch teilweise bis zu 0,5 cm dicker als die übrigen Putze.

Bei der Löschwasserbeanspruchung zeigten sich bei den mit Zement bzw. überwiegend mit Zement hergestellten Putzen keine Beschädigungen, während bei den mit Kalk hergestellten Putzen diese teilweise oder ganz zerstört wurden.

Die mit Gips hergestellten Putze wiesen demgegenüber nur geringe Beschädigungen auf. Hinsichtlich der Zuschlagstoffe ergaben sich keine wesentlichen Unterschiede bei der Löschwasserbeanspruchung. Nur die Efawit-Putze wurden stark beschädigt, während bei den Limpet-Putzen nur kleine Putzstückchen herausgespült waren.

Der Einfluß des Feuchtigkeitsgehaltes der Putze war wesentlich. Die Temperaturerhöhung auf der dem Feuer abgekehrten Seite wird durch die Feuchtigkeit hinausgezögert. Besonders groß waren die Temperaturunterschiede zwischen feuchten und trockenen Putzen gleicher Mörtelzusammensetzung etwa zwischen der 40. und 70. Versuchsminute.

Auf Grund der Kleinbrandversuchsergebnisse wurden folgende Putze für die Großbrandversuche vorgesehen:

- a. Mörtelgips-Sand-Putz, M.V. 1:0,5 n. Rtl.
- b. Zement-Kalk-Vermiculite-Putz, M.V. 1:0,2:4,5 n. Rtl.
- c. Zement-Kalk-Perlite-Putz, M.V. wie 2
- d. Gipsputz auf Rabitzdrahtgewebe, M.V. 1:0,5 n. Rtl.
- e. Spezialputz auf Kalkbasis

Zahlentafel 10

Nr.	Putzart	M.V. Rtl.	Putzträger
a	Gips-Sand	1 : 0,5	Rippenstreck- metall
b	Zement-Kalk-Verm.	1 : 0,2 : 4,5	
c	Zement-Kalk-Perlite	1 : 0,2 : 4,5	
d	Spezialputz auf Kalkbasis	-	
e	Gips-Sand	1 : 0,5	Rabitzgewebe

Es wurden 59 Probekörper mit insgesamt 2 cm dicken Putzen über Putzträger gemessen, die sich im wesentlichen nur durch verschiedene Zusammensetzungen der verwendeten Baustoffe und damit in ihrem Raumgewicht unterschieden, in Kleinbrandversuchen geprüft. Diese Untersuchungen sollten zur Feststellung dienen, inwieweit diese Putze geeignet sind als Unterdecken Stahlkonstruktionen zu schützen. Die Darstellung des tragenden Stahlprofiles erfolgte bei den Versuchen ersatzweise durch einen in entsprechender Entfernung vom Putz eingezogenen Rundstahlstab.

Die Raumgewichte der Putze lagen im wesentlichen in Bereichen von 300 bis 1000 kg/m³ und zwischen 1500 und 1900 kg/m³. Bei Putzen dieser ersten Gruppe handelt es sich um typische Isolierputze, während die Putze mit Raumgewichten von 1500 bis 1900 kg/m³ nach DIN 18160 in verschiedenen Ausführungen zumeist in der Praxis bei Putzkonstruktionen verwendet werden.

Bei der Bewertung der Versuchsergebnisse muß hier zunächst davon ausgegangen werden, inwieweit die zur Zeit gültigen Anforderungen der DIN 4102, Bl. 1, die dort an feuerbeständige Stahlträgerkonstruktionen gestellt werden erfüllt sind.

Es wird von feuerbeständigen Stahlträgern verlangt, daß diese sich während des 1 1/2-stündigen Brandversuches auf höchstens 250° C erwärmen dürfen.

Bei sämtlichen Putzen mit Raumgewichten von $1500 - 1900 \text{ kg/m}^3$ wurde diese zulässige Temperatur, teilweise um mehr als 100°C überschritten. Günstiger haben sich dagegen Putze mit Raumgewichten zwischen 300 und 1000 kg/m^3 verhalten. Die dabei aufgetretenen Temperaturüberschreitungen lagen nur wenig über der zulässigen Grenze, bei Raumgewichten von 300 bis 550 kg/m^3 wurde die zulässige Temperatur praktisch nicht mehr überschritten. Das bedeutet, daß nach den Versuchsergebnissen aus den Kleinbrandversuchen nur die Putze mit einem Raumgewicht von $300 - 550 \text{ kg/m}^3$ in der geprüften Dicke ausreichen, um eine Stahlkonstruktion feuerbeständig zu schützen.

Neben einer entsprechenden Isolierfähigkeit müssen die Putze während und nach dem Brandversuch aber auch eine mechanische Festigkeit besitzen, die ausreicht, daß die durch die Löschwasserbeanspruchung hervorgerufenen Schäden die Konstruktion nicht gefährden. Die Abbildungen 1 bis 10 zeigen die Versuchskörper am Ende der Brandversuche unmittelbar nach der Löschwasserprobe.

Es ist deutlich zu erkennen, daß bei einzelnen Probekörpern der Putz durch Brand und Löschwasserprobe teils weniger, teils mehr zerstört worden ist. Die dabei zerstörten Putze haben dagegen beim Brandversuch eine teilweise gute Isolierwirkung bewiesen.

Die erste Folgerung aus den Kleinbrandversuchen kann also folgendermaßen gezogen werden:

Je niedriger das Raumgewicht eines Putzes um so besser ist seine Isolierfähigkeit gegen hohe Temperaturen. Dieser Schluß ergibt sich aber auch aus einer theoretischen Betrachtung der Wärmeleitahlen, wonach Dämmstoffe mit niedrigem Raumgewicht das bessere Dämmvermögen besitzen.

Die Festigkeit einer Putzschicht gegenüber der Löschwasserprobe steigt im umgekehrten Verhältnis also mit zunehmendem Raumgewicht.

Aus Anlagen 14 bis 21 sind nun die erreichten Temperaturen auf der Putzoberseite und an den "Stahlträgern" in Abhängigkeit vom Raumgewicht zu einer bestimmten Versuchszeit dargestellt. Aus diesen Diagrammen geht hervor, daß die Isolierfähigkeit eines Putzes von bestimmter Dicke in einem linearen Verhältnis zum Raumgewicht des Putzes steht, wenn man von Differenzen aus der Versuchsdurchführung absieht.

2.32 Kleinbrandversuche an 7 cm dicken geputzten Stahlbetonplatten

Bei den Brandversuchen an den geputzten Versuchsplatten wurde fest-

gestellt, daß nur die mit einem Zementsandputz (Zementmörtel) versehenen Platten eine Versuchsdauer von mehr als 90 Minuten nicht erreichten. Etwas günstiger lagen die Ergebnisse mit Kalkzementputz 1 : 2 : 8 Rtl. (DIN 1053) geputzten Platten. Bei allen übrigen Versuchen haben die Platten mehr als 3 Stunden der Feuerbeanspruchung widerstanden. (s. Anlage 22).

Die Zahlentafel 11 bringt eine Aufstellung über das Verhalten der Deckenunterseite. Die Putzhaftung ist nur bei den Sandputzen und vor allem bei den zementgebundenen Putzen sehr ungünstig. Dadurch ist die Erwärmung der Stahleinlagen sehr hoch, die das Versagen der Konstruktion erklärt. Die Vermiculite- und Perliteputze mit ihrem geringen Raumgewicht haben sich dagegen sehr gut bewährt. Der Einfluß infolge der Austrocknungszeit und damit des Feuchtigkeitsgehaltes haben sich bei den Sand- und Schlackensandputzen als gering, bei den Isolierputzen als wesentlich bedeutungsvoller herausgestellt.

In Anlage 23 sind die Putzarten der jeweiligen Putzgruppe zusammengestellt, die dem Feuer den größten Widerstand geleistet haben und die für die Großversuche ausgewählt wurden.

Es wurden 7 cm dicke Stahlbetonplatten bei einer Stützweite $l = 1,65$ m mit gleicher Bewehrung und Überdeckung der Stahleinlagen, unterseitig teilweise unverputzt, größtenteils mit verschiedenen Putzen, die sich durch das Mischungsverhältnis, Bindemittel und Zuschlagstoffe unterschieden in Kleinbrandversuchen unterzogen.

Die Versuche haben wieder gezeigt, daß das Versagen von Betonplatten von der Erwärmung der Stahleinlagen abhängt und das zu deren Schutz ein Putz unbedingt erforderlich ist. Von den insgesamt 24 geprüften geputzten Platten ist lediglich ein Versuchsstück vor Ablauf von 90 Minuten Versuchsdauer zusammengebrochen, dagegen sind die unverputzten Stahlbetonplatten nach etwa 45 bis 60 Minuten zusammengebrochen.

Da der Zusammenbruch von der Erwärmung der Stahleinlagen abhängt, ist die Isolierwirkung der Putze für die Widerstandsfähigkeit der Betonplatten maßgebend. Die Versuche haben auch hier erkennen lassen, daß die Isolierwirkung der Putze umgekehrt proportional zum Raumgewicht ist, d.h. je geringer das Raumgewicht des Putzes um so besser ist ihre Isolierwirkung. In Anlage 24 bis 26 sind die Temperaturen an den Stahleinlagen bei einer Überdeckung von 1,0 cm und einer Putzdicke von 1,5 cm nach einer bestimmten Versuchsdauer in Abhängigkeit vom Raumgewicht aufgetragen.

Zahlentafel 11
Das Verhalten der Putze bei den Kleinbrandversuchen

Putzart	MV n. Rtl.	Putz- alter (Woche)	Zustand des Putzes vor dem Einsturz	Zusammenbruch nach Minuten
Sandputze	Z:S=1:3	4 11	Fast vollständig in etwa 1 cm Dicke abgeplatzt 75 % sind etwa 0,8 cm dick abgeplatzt	80 106
	M:S=1:0,5	4 12	Geringfügige Abplatzungen, Haarrisse Mit Haarrissen durchsetzt	185 213
	Z:K:S=1:2:8	5 12	Etwa 0,7 cm dick, fast überall abgefallen Bis auf geringe Reste 0,5 cm dick abgefallen	136 115
Schlacken- sandputze	Z:Sch=1:3	3 12	Keine Veränderung feststellbar Keine Veränderung feststellbar	191 101
	Z:K:Sch= 1:2:8	4 12	Geringfügige Veränderung, fast unverändert	212 182
Vermiculite- Putze	Z:K:V= 1,5:0,2:4,5	4 12	Netz aus feinen Rissen Netz aus feinen Rissen	311 255
	Z:K:V= 1,5:2,5:7	4 12	Rissebildung, nur kleine Fläche abgefallen Rissebildung, nur kleine Fläche abgefallen	298 205
	M:V=1:1	4 12	Keine Veränderungen feststellbar Keine Veränderungen feststellbar	280 240
Perlite- Putze	M:P=1:1	4 12	Leichte Rissebildung Leichte Rissebildung	267 229
	Z:K:P= 1,0:0,2:4,5	4 12	Netzwerk von Rissen Kaum verändert	231 217
	Z:K:P= 1,5:2,5:7	4 12	Risse bis 0,5 cm Breite Kräftige Rissebildung	251 208
Spezial- Putz		4 12	Nur geringe Veränderungen Nur geringe Veränderungen	249 298

Der lineare Zusammenhang zwischen Raumgewicht und Temperatur ist daraus deutlich erkennbar. Streuungen, die teils auf die Versuchsdurchführung, teils auf das Alter der Putze am Tage des Brandversuches zurückzuführen sind, sind von verhältnismäßig geringer Bedeutung.

Neben der Feststellung der Isolierwirkung der Putze sollten die Versuche noch dazu dienen, das Verhalten der Deckenplatten zum Zeitpunkt des Zusammenbruchs zu klären, Sowohl bei diesen Kleinbrandversuchen als auch bei früheren Versuchen mit Stahlbetonbauteilen wurde immer ein typischer Durchbiegungsverlauf erkennbar. Aus Abb. 1 ist klar erkennbar, daß sich auch beim Brandversuch an einer Konstruktion der elastische und plastische Bereich der Stahleinlagen abzeichnet. Im plastischen Bereich unmittelbar vor Eintritt des Bruches tritt eine sehr starke Zunahme der Durchbiegung ein, die dann sehr schnell zum vollständigen Einsturz führt.

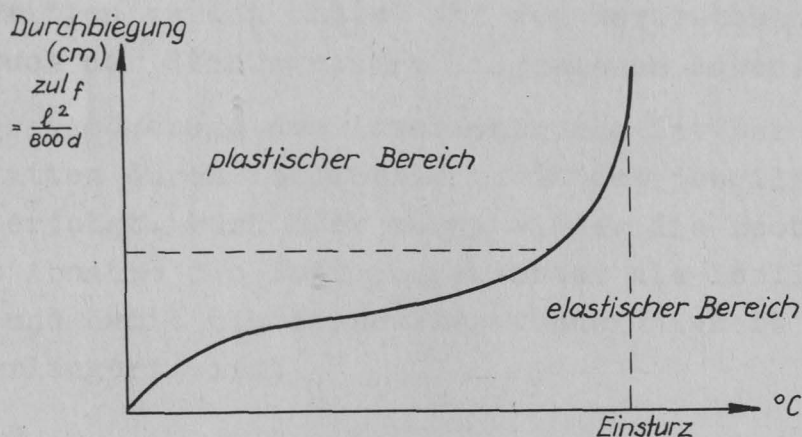


Abb. 1 Schematischer Durchbiegungsverlauf beim Brandversuch an einer Stahlbetonplatte

Da Stahlbetonkonstruktion bei einer Erwärmung ihrer Stahleinlagen auf 500 bis 600°C unmittelbar vor dem Zusammenbruch stehen, wird seitens der amerikanischen und englischen Norm die zulässige Durchbiegung auf $zul f = \frac{l^2}{800 d}$ begrenzt und damit ein mathematisch bestimmbarer Zeitpunkt für den Zusammenbruch festgelegt.

Nach Erreichen dieser Temperaturgrenze bzw. Durchbiegungsgrenze wird - da sich die Stahleinlagen im plastischen Bereich befinden - eine merklich zunehmende Durchbiegung einstellen. Versuche haben erwiesen, daß die Durchbiegungen so stark zunehmen, daß ein Einsturz unmittelbar bevorsteht. Sollte dabei eine maximale zulässige Durchbiegung noch nicht erreicht sein, so wäre eine zweite Begrenzung durch die Durchbiegungsgeschwindigkeit möglich. Amerikanische und englische Fachleute erwägen, eine maximale Durchbiegungsgeschwindigkeit von $\frac{12}{9000 d}$ cm pro Minute festzulegen.

In der nachfolgenden Zahlentafel 20 sind die bei Kleinbrandversuchen geprüften Stahlbetonplatten meßtechnisch ermittelten Durchbiegungen unmittelbar vor dem Zusammenbruch mit der nach obiger Formel festgelegten Grenze verglichen. Aus der Zusammenstellung wird deutlich, daß die theoretischen Begrenzungen bei fast allen Deckenplatten kurz vor dem Zusammenbruch überschritten wurden und so auf den bevorstehenden Einsturz bzw. Bruch der Stahleinlagen hingewiesen haben.

Eine Herauszögerung des Zusammenbruchs ist bei allen Stahlbetonplatten durch Isolierfähigkeit des jeweils aufgetragenen Putzes erfolgt. Auch hier wurde wieder die Beobachtung gemacht, daß mit Abnahme des Putzraumgewichtes die Isolierfähigkeit des Putzes und damit die Feuerwiderstandsfähigkeit einer Konstruktion verlängert wird.

In den Anlagen 24 bis 26 ist die Erwärmung der Stahleinlagen in Abhängigkeit vom Raumgehalt des Putzes zu einer bestimmten Versuchszeit dargestellt. Diese Werte beziehen sich auf Stahlbetondecken mit einer Überdeckung der Stahleinlagen von 1 cm und einer Putzdicke von 1,5 cm. Unter diesen Voraussetzungen läßt sich die Isolierfähigkeit eines Putzes von bestimmten Raumgewicht und damit auch die Widerstandsfähigkeit einer Stahlbetonplatte gegen Feuer zumindest Größenordnungsmäßig vorausbestimmen.

Zahlentafel 12

Stützweite: $l = 150 \text{ cm}$; Dicke: $d = 8 \text{ cm}$; $\max.f = \frac{l^2}{800d} = 4,0 \text{ cm}$

Bez.der Versuchs- platte	Überschreitung der maximal zulässigen Durchbiegung (Min.) t_1	Zeitpunkt des Zusammenbruchs (Min.) t_2	Gemessene Durchbieg. unmittelbar vor dem Zusammenbruch	Sicher- heits- Faktor $r = \frac{t_2}{t_1}$
4.211	77 84	80 106	4,25 5,30	1,04 1,26
4.212	164 188	185 213	5,90 5,35	1,13 1,30
4.213	105 97	136 115	6,25 5,50	1,295 1,195
4.221	162 150	191 186	5,45 6,40	1,18 1,24
4.222	180 146	212 182	5,35 6,40	1,18 1,25
4.231 a	285 240	311 255	5,00 4,65	1,09 1,06
4.231 b	260 192	290 215	4,85 4,25	1,12 1,11
4.232	262 200	280 240	5,30 4,80	1,07 1,20
4.241	237 172	267 229	5,25 5,00	1,13 1,33
4.242	209 201	231 217	5,05 4,90	1,11 1,08
4.243	225 - (198)	251 208	5,30 3,80	1,12 1,05
4.25	231 264	249 298	> 4,35 > 4,20	1,08 1,13
4.261	41	53	> 4,35	1,29
4.262	38	48	5,05	1,26
4.263	34	44	> 4,75	1,29
4.264	46	55	> 4,45	1,19
4.265	44	60	> 4,80	1,36

3. Großbrandversuche

3.1 Großbrandversuche an Stahlträgerdecken mit untergehängten Putzdecken

Die bei den Kleinbrandversuchen festgestellten Zusammenhänge sollten nun auch an Deckenkonstruktionen mit praktischen Abmessungen nachgeprüft und erhärtet werden. Dabei konnten nicht sämtliche in Kleinbrandversuchen geprüften Putze in das Programm einbezogen werden.

3.11 Versuchsanordnung und -durchführung

Auch diese Versuche sollten zur Erhärtung und Bekräftigung der vorausgegangenen Kleinbrandversuche dienen. Bei den Kleinbrandversuchen an Unterdeckenmodellen liegen infolge der relativ kleinen Versuchsflächen naturgemäß andere Voraussetzungen vor. Bei den wirklichkeitsnahen Großversuchen sollte dabei der auftretende Einfluß aus der Trägerdurchbiegung insbesondere der Einfluß auf die Unterdecke mit erfaßt werden. Bei diesen Konstruktionen wurden die Putze und Putzarten verwendet, die bei den Unterdecken-Kleinversuchen ein recht gutes Verhalten gezeigt hatten. Im einzelnen war die Unterdecke der Decken bei den Großversuchen aus folgenden Putzen erstellt:

- a. Unterdecke aus einem Gips-Sand-Putz
- b. Unterdecke aus einem Zement-Kalk-Vermiculite-Putz
(MV: 1,5 : 0,2 : 4,5 n. Rtl.)
- c. Unterdecke aus einem Zement-Kalk-Perlite-Putz
(MV: 1,5 : 0,2 : 4,5 n. Rtl.)
- d. Unterdecke aus einem Spezialputz auf Kalkbasis
- e. Unterdecke aus einem Kalk-Gips-Putz auf Rabbitzgewebe

Mit Ausnahme der Decke e. wurde bei allen übrigen Konstruktionen der Putz auf handelsübliches Rippenstreckmetall aufgebracht.

Die Deckenkonstruktionen bestanden aus zwei stählernen Walzprofilen, die im Abstand von 81 cm verlegt das eigentliche tragende Element der Versuchsdecken bildeten. Auf ihrer Oberseite wurden 5 cm dicke, 25 cm breite und 1,70 m lange, bewehrte Stahlbetonplatten dicht an dicht verlegt und deren profilierte Fugen mit einem Zementmörtel 1 : 4 n. Rtl. vergossen.

Die Unterseite der Versuchsdecken wurde mit einer Unterdecke unter Verwendung von handelsüblichem Rippenstreckmetall gebildet. In Abständen von etwa 30 cm wurden Rundstahlstäbe an den Trägerunterflanschen befestigt und daran das Rippenstreckmetall angebunden.

Bei den Putzarbeiten, die von Hand über Kopf erfolgten, wurde zunächst mit einer ersten Schicht das Rippenstreckmetall ausgedrückt, anschließend eine zweite Putzschicht aufgebracht und danach die Unterdecke mit einer dritten Schicht geglättet, so daß insgesamt eine Putzdicke von etwa 2 cm, über Rippenstreckmetall gemessen, vorhanden war.

Die Versuchskonstruktion ist in Anlage 27 dargestellt. Einzelheiten, vor allem der Unterdecke, sowie Raumgewichte und Festigkeiten der Putze sind der nachfolgenden Zahlentafel 13 zu entnehmen.

Die Versuchskonstruktionen wurden so in das Brandhaus eingebaut, daß sie sich an ihren Längsrändern frei durchbiegen konnten. Nach DIN 4102, Blatt 3, sind tragende Bauteile bei Brandversuchen unter der rechnerisch zulässigen Belastung zu prüfen. Am Tage des Brandversuches wurde deshalb in Feldmitte eine auf beide Stahlträger wirkende Einzellast aufgebracht. Diese wurde so bemessen, daß aus dem Deckeneigengewicht und der aufgetragenen Belastung die Gebrauchsspannungen von $\sigma_{zul} = 1400 \text{ kg/cm}^2$ der tragenden Stahlkonstruktion erreicht war. Die Belastung wurde so angebracht, daß sie auch bei fortschreitender Durchbiegung voll wirksam blieb.

Die Temperaturen in der Brandkammer entsprachen der Einheits-temperaturkurve nach DIN 4102 und wurden mit NiCr-Ni-Thermoelementen in etwa 10 cm Abstand von der Versuchsdecke gemessen. Die Beheizung erfolgte mit Ölbrennern.

Während der Brandversuche wurden die Temperaturen an den Stahlträgern, auf der Oberseite der Unterdecke, unter den abdeckenden Stahlbetonplatten sowie auf der dem Feuer abgekehrten Seite der Versuchsdecken gemessen. Diese Temperaturmessungen erfolgten mit Cu-Konst.-Thermoelementen. In Feldmitte befanden sich an den Längsrändern der Deckenkonstruktion Meßstäbe, die zur Kontrolle der Durchbiegungen dienten.

Anordnung und Lage der Thermoelemente, sowie der übrigen Meßstellen ist aus der Anlage 27 zu ersehen.

3.12 Beobachtungen und Meßergebnisse bei den Brandversuchen

Die bei den jeweiligen Brandversuchen gemessenen Temperaturen im Brandhaus und an den Versuchskonstruktionen, die festgestellten Durchbiegungen sind in den Zahlentafeln 14 bis 18 zusammengestellt. Beobachtungen während der Versuche sind nachfolgend ebenfalls wiedergegeben. In der Anlage 28 sind die gemessenen Werte als Mittelwerte graphisch dargestellt.

Zahlentafel 13

Decken Bez.	Unterdecke	Mischungsverhältnis n. Rtl. *)	Alter (Wochen)	Raum- gewicht kg/cm ²	Druck- festig- keit kg/cm ²	Biegezug- festigkeit kg/cm ²	Feuchtig- keit Gew. %	Bemerkung
a	Gips-Sand	P:S:K = 1:0,5:0,1	6	1640	103	34		
b	Zement-Kalk- Vermiculite	Z:K:V = 1,5:0,2:4,5 1,0:0,2:4,5 1,0:0,2:2,0	7	735	41	19	16,2	
c	Zement-Kalk-Perlite	Z:K:P' = 1,5:0,2:4,5 1,0:0,2:4,5 1,0:0,2:2,0	9	876	43	20	11,9	
d	Spezialputz	-	10	930	11,3	8,0	13,0	
e	Kalk-Gips	K:G:S = 1,0:0,5:3,5	8	1520	51,6	23,8		Putzträger aus Rabitz- gewebe

*) P = Putzperllit Z = Zement
 S = Sand (0 - 3 mm) K = hydr. Kalk
 G = Stuckgips V = Vermiculite
 P' = Perlite

Z a h l e n t a f e l 14

Gemessene Temperaturen und Durchbiegungen am
Versuchsstück a

Versuchs- dauer (Min.)	Temp. im Brandhaus °C *)	Temperatur auf der Unterdecke °C		Temp. an den Stahlträgern °C					Temp. auf der dem Feuer abgekehrten Seite °C		Durch- biegung ***) (cm)
		Max.	Mittel	6	7	8	9	Mittel 6-9	Max.	Mittel	
0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,05
5	545	84	67	25	24	24	30	26	-	-	1,30
10	678	105	96	65	58	49	48	55	25	24	1,45
15	686	116	95	72	65	60	50	64	25	25	1,45
20	802	172	112	80	74	70	66	72	29	28	1,45
25	851	363**)	157	86	83	78	77	81	36	33	1,45
30	888	466	186	93	89	88	88	90	41	37	1,40
40	919	429	212	93	92	92	93	93	53	48	1,35
50	947	448	269	97	93	97	94	95	60	55	1,45
60	998	464	395	116	101	128	99	111	64	60	1,60
70	1006	602	490	166	140	178	155	160	69	65	1,90
80	1019	592	520	212	175	241	208	209	72	67	2,15
90	1012	569	514	255	208	304	245	253	81	75	2,40
105	1038	602	559	300	244	334	285		94	84	2,60

*) Mittel aus 5 Meßstellen

**) Sprunghafter Anstieg infolge abgefallenen Putzes

***) Durchbiegung vor Aufbringen der Last = 0 gesetzt.

Z a h l e n t a f e l 15

Gemessene Temperaturen und Durchbiegungen am
Versuchsstück b

Versuchs- dauer (Min.)	Temp. im Brandhaus °C *)	Temperatur auf der Unterdecke °C		Temp. an den Stahlträgern °C					Temp. auf der dem Feuer abgekehrten Seite °C		Durch- biegung (cm) **)
		Max.	Mittel*)	6	7	8	9	Mittel 6-9	Max.	Mittel*)	
0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,85
5	475	18	13	9	10	10	10	10	7	7	0,95
10	614	69	58	15	15	25	22	9	7	7	1,05
15	722	93	77	40	30	52	42	41	9	7	1,20
20	795	94	82	54	42	70	57	56	12	9	1,30
25	845	94	84	59	49	74	67	62	17	12	1,30
30	860	94	84	64	57	77	72	68	22	16	1,20
40	900	97	87	73	71	83	79	77	29	23	1,10
50	961	100	88	81	79	89	86	84	41	33	1,10
60	1006	108	91	89	88	90	89	89	46	39	1,05
70	1002	115	95	92	90	91	90	91	51	45	1,00
80	1012	142	96	92	91	91	91	91	54	49	1,00
90	1024	194	139	92	91	105	95	96	54	51	1,05
105	1038	241	192	102	91	155	114	116	55	52	1,40
120	1050	321	249	112	92	186	149	135	59	55	1,40
135	966	394	313	130	108	209	175	156	61	59	1,50

*) Mittel aus 5 Meßstellen

**) Durchbiegung vor Aufbringen der Last = 0 gesetzt.

Z a h l e n t a f e l 16

Gemessene Temperaturen und Durchbiegungen am
Versuchsstück c

Versuchs- dauer (Min.)	Temp. im Brandhaus °C *)	Temperatur auf der Unterdecke °C		Temp. an den Stahlträgern °C					Temp. auf der dem Feuer abgekehrten Seite °C		Durch- biegung (cm) **)
		Max.	Mittel	6	7	8	9	Mittel 6-9	Max.	Mittel	
0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,75
5	545	90	46	28	50	43	44	36	33	33	0,95
10	688	96	81	79	71	78	74	62	33	33	1,10
15	722	100	93	78	83	83	82	70	38	36	1,10
20	754	100	95	93	90	91	89	79	43	42	1,10
25	806	100	97	94	92	93	92	83	48	46	1,10
30	825	122	106	96	92	94	94	88	53	51	1,10
40	894	176	123	98	100	99	98	93	60	59	1,10
50	1008	268	159	126	110	100	99	98	68	65	1,05
60	957	400	207	183	144	100	104	104	72	69	1,05
70	986	443	239	243	173	111	113	123	73	71	1,25
80	974	496	283	260	202	143	140	153	74	73	1,30
90	1032	-	272	293	221	178	168	188	78	74	1,45
105	1057	-	337	318	250	256	218	250	83	79	1,65

*) Mittel aus 5 Meßstellen

**) Durchbiegung vor Aufbringen der Last = Null gesetzt.

Z a h l e n t a f e l 17

Gemessene Temperaturen und Durchbiegungen am
Versuchsstück d

Versuchs- dauer (Min.)	Temp. im Brandhaus °C *)	Temperatur auf der Unterdecke °C		Temp. an den Stahlträgern °C					Temp. auf der dem Feuer abgekehrten Seite °C		Durch- biegung (cm) **)
		Max.	Mittel	6	7	8	9	Mittel 6-9	Max.	Mittel	
0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,95
5	470	73	73	13	13	12	12	13	11	10	1,45
10	641	92	81	26	22	26	21	24	11	11	1,45
15	786	93	86	42	39	46	35	41	11	11	1,90
20	831	94	86	46	59	65	51	60	13	13	2,05
25	870	95	88	69	63	71	57	65	13	17	2,05
30	840	103	94	73	68	77	65	71	22	21	2,05
40	927	171	222	91	86	83	78	85	35	33	1,78
50	940	247	307	138	95	85	83	100	44	40	2,18
60	972	319	382	224	156	98	87	141	56	48	3,00
70	992	378	436	275	211	141	106	183	71	56	2,75
80	998	409	458	317	244	201	150	228	79	65	2,90
90	1000	546	497	342	270	254	187	263	79	69	3,00
105	1019	589	528	381	306	312	233	307	85	79	3,25
120	1053	616	553	404	338	350	277	342	98	89	3,35

*) Mittel aus 5 Meßstellen

**) Durchbiegung vor Aufbringen der Belastung gleich Null gesetzt.

Z a h l e n t a f e l 18

Gemessene Temperaturen und Durchbiegungen am
Versuchsstück e

Versuchs- dauer (Min.)	Temp. im Brandhaus °C *)	Temperatur auf der Unterdecke °C		Temp. an den Stahlträgern °C					Temp. auf der dem Feuer abgekehrten Seite °C		Durch- biegung (cm) **)
		Max.	Mittel	6	7	8	9	Mittel 6-9	Max.	Mittel	
0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,90
5	518	82	70	-	-	-	-	-	-	-	1,15
10	675	110	93	22	20	32	27	25	-	-	1,25
15	753	185	115	51	40	57	46	49	-	-	1,33
20	823	244	139	66	57	68	58	62	19	18	1,35
25	853	296	169	78	72	80	73	76	25	23	1,35
30	896	347	192	85	79	85	80	82	31	28	1,30
40	955	379	266	85	82	90	88	86	39	37	1,30
50	988	445	376	118	88	151	93	113	48	47	2,10
60	1008	537	449	163	122	221	150	164	59	56	2,50
70	1017	548	476	209	165	261	192	207	77	67	2,70
80	1034	571	510	252	203	272	259	247	85	75	3,03
90	1038	588	548	296	236	323	286	285	90	81	3,30
105	1055	601	572	351	278	356	314	325	88	84	3,53
120	1092	615	590	378	302	361	341	346	90	86	3,65
135	995	606	590	406	334	421	361	381	90	89	-

Beobachtungen beim Brandversuch an Decke a

Versuchsdauer (Min.)	B e o b a c h t u n g e n
4.	Längsriß in der Unterdecke im Bereich von Träger II.
9.	Eine etwa 1 m ² große Putzfläche ist in der Mitte bis auf die Ausdruckschicht abgefallen.
37.	Es haben sich, vom abgefallenen Mittelstück ausgehend, weitere Risse gebildet.
105.	Abbruch des Brandversuches. Löschwasserprobe. Dabei wird fast die gesamte Unterdecke bis auf die Ausdruckschicht abgespült.

Beobachtungen beim Brandversuch an Decke b

Versuchsdauer (Min.)	B e o b a c h t u n g e n
3.	Einzelne, kleinere Flächen der Glattschicht sind abgefallen.
10. - 15.	Unternden Stahlträgern bilden sich Haarrisse in Spannrichtung.
20.	In Deckenmitte ist auf der dem Feuer zugekehrten Seite ein stärkerer Riß festzustellen.
25. - 30.	Die Haarrisse verbreiten sich netzförmig.
105.	Die Risse haben sich bis auf 2 bis 2 mm Breite vergrößert, weitere Putzflächen sind nicht abgefallen.
135.	Abbruch des Versuches.

Beobachtungen beim Brandversuch an Decke c

Versuchsdauer (Min.)	B e o b a c h t u n g e n
15.	Auf der dem Feuer abgekehrten Seite der Unterdecke werden Risse sichtbar. Zwischen diesen Rissen ist der Putz in einer Dicke von etwa 6 bis 7 mm abgefallen.
40.	Die Risse werden breiter und klaffen teilweise in einer Breite von fast 5 mm.
105.	Ende der Feuerbeanspruchung, Löschwasserprobe. Während der Löschwasserbeanspruchung fallen weitere Teilflächen der Unterdecke ab.

Beobachtungen beim Brandversuch an Decke d

Versuchsdauer (Min.)	B e o b a c h t u n g e n
1.	Unter explosionsartigen Geräuschen platzt die Glattschicht der Unterdecke ab.
5.	Die Glattschicht ist bis auf einige Reste ganz abgeplatzt.
10.	Weitere Flächenteile des Putzes fallen ab.
29.	Bis auf die Ausdruckschicht ist der gesamte Putz abgefallen.
40.	Das Rippenstreckmetall ist teilweisefreigelegt und wölbt sich wellenartig.

Beobachtungen beim Brandversuch an Decke e

Versuchsdauer (Min.)	B e o b a c h t u n g e n
3.	Der Putz ist teilweise abgefallen. Starke Riß- und Beulenbildung - Verwerfungen.
8.	Weitere Putzflächen sind schichtenweise abgefallen. Teilweise ist das Rabitzgewebe bereits sichtbar. Während der nachfolgenden Versuchsminuten fällt der Putz weiter ab. Es ist dann nur noch die Ausgleichsschicht vorhanden.
105.	An einzelnen Stellen sind durchgehende klaffende Risse aufgetreten.
135.	Ende des Brandversuches, Löschwasserprobe. Dabei werden weitere Putzflächen bis auf das Rabitzgewebe abgespült.

3.2 Verputzte Stahlbetondecken

Um die Ergebnisse aus den einzelnen Brandversuchen und die daraus gefolgerten Überlegungen zu erhärten, wurden auch Stahlbetonplatten Großbrandversuchen unterzogen.

Diese Versuchsstücke unterschieden sich ebenfalls lediglich durch verschiedene Putzarten und dementsprechend durch eine Isolierschicht von verschiedenen Raumbewichtungen. Nur ein Teil der Versuchsdecken ist bis zum vollständigen Zusammenbruch geprüft worden, da festgestellt werden sollte, inwieweit zunächst während einer 1 1/2-stündigen = feuerbeständigen Prüfzeit die gemessenen Temperaturen und Durchbiegungen mit denen der Kleinbrandversuche übereinstimmen und die bei den Kleinbrandversuchen gewonnenen Versuchsergebnisse allgemeine Gültigkeit besaßen. Es wurden an größeren, teils geputzten und teils ungeputzten Stahlbetondecken Brandversuche durchgeführt, wobei diejenigen Putze verwendet wurden, die bei den Kleinbrandversuchen das beste Verhalten gezeigt hatten. In einzelnen wurden Brandversuche an folgenden Deckenkonstruktionen durchgeführt.

- I. Stahlbetondecke mit einem Gips-Sand-Putz
MV: Gipsperlite : Sand = 1 : 0,5 n. Rtl. (Ölfeuerung)
- II. Stahlbetondecke mit einem Gips-Sandputz
unter Holzfeuerbeanspruchung (Holzfeuerung)
- III. Stahlbetondecke mit einem Zement-Kalk-Vermiculite-Putz
MV: 1,5 : 0,2 : 4,5 n.Rtl. (Ölfeuerung)
- IV. Stahlbetondecke mit einem Zement-Kalk-Perlite-Putz
MV: 1,0 : 0,2 : 4,5 n.Rtl. (Ölfeuerung)
- V. Stahlbetondecke mit einem Spezialputz auf Kalkbasis
(Ölfeuerung)
- VI. Stahlbetondecke unverputzt (Ölfeuerung)
- VII. Stahlbetondecke unverputzt (Holzfeuerung)

Um gleichzeitig den Einfluß von verschiedenen Brennstoffen und Feuerungen beurteilen zu können, sollte bei den Konstruktionen das Brandhaus bei 5 Decken mit Öl und bei 2 Decken mit Holz beheizt werden.

3.21 Versuchsanordnung und Durchführung

Facharbeiter des Instituts stellten Versuchsdecken mit den Abmessungen 2,70 m x 1,45 m und 8,5 cm Plattendicke her.

Als Bewehrungsstahl wurde Betonstahl IIIb - Torstahl - \varnothing 7 mm verwendet. Die Deckenkonstruktionen wurden mit 16 Stäben \varnothing 7 mm in ihrer Längsrichtung bewehrt. Jeder zweite Rundstahl wurde im Bereich der Auflager aufgebogen und in der Druckzone verankert. Die Querbewehrung - Verteilerbewehrung - bestand ebenfalls aus Betonstahl IIIb \varnothing 6 mm in Abständen von 33 cm. Der Längsschnitt der Versuchsdecken und Lage der Bewehrung ist in Anlage 29 dargestellt. Drei Bewehrungsstäbe der Zugbewehrung besaßen zur Messung der Temperaturen an den Stahleinlagen angelötete Cu-Konst.-Thermoelemente. Die Betonüberdeckung der unteren Stahleinlagen betrug bei allen Konstruktionen 1,0 cm. Weitere Einzelheiten und Abmessungen, Einbau der Konstruktion im Versuchsstand, sowie Lage und Anordnung der Temperaturmeßstellen sind aus Anlage 30 zu entnehmen.

Die Betonherstellung erfolgte unter Verwendung von Portlandzement Z 375 nach DIN 1164 mit natürlichen Zuschlagstoffen getrennter Körnung. Die Kornzusammensetzung wurde so gewählt, daß die Sieblinie des Zuschlagstoffes im guten bis besonders guten Bereich lag.

Aus der Würfeldruckfestigkeit W_{28} der gleichzeitig hergestellten Probewürfel wurde die Güte des verwendeten Betons mit mindestens B 225 ermittelt. Nach dem Ausschalen wurden fünf der Platten von Hand über Kopf zunächst mit einem Spritzvorwurf aus Zementmörtel (MV 1 : 4 n.Rtl) versehen und danach mit einem 1,5 cm dicken Putz, der in drei Lagen aufgetragen wurde, verputzt. Die übrigen beiden Versuchsplatten blieben ohne Putz.

Weitere Einzelheiten, wie die Würfeldruckfestigkeit des Betons, Alter von Putz und Beton beim Brandversuch, Putzart etc., sind der Zahlentafel 19 zu entnehmen.

Zur Durchführung der Brandversuche wurden die Deckenkonstruktionen als oberer, horizontaler Raumabschluß zweiseitig gelagert in ein Brandhaus eingebaut. An den beiden nicht aufliegenden Plattenlängsrändern wurden Bewegungsfugen angeordnet, damit sich die Versuchsdecken unter der aufgebrachten Last und der Wärmebeanspruchung frei durchbiegen konnten. Die rechnerische Stützweite aller Decken betrug 2,60 m. Nach DIN 4102, Blatt 3 sind tragende Bauteile unter der rechnerisch zulässigen Belastung zu prüfen. Diese Belastung wurde so aufgebracht, daß

Zahlentafel 19

Übersicht über die Deckenkonstruktionen

Bez. Nr.	Stahlbetondecke					P u t z						Bemerkung
	Dicke cm	Über- Deckung cm	Bewehrg.	W28 kg/cm ²	Alter *) Woch.	Art	MV n.Rtl.	Dicke cm	Raum- gew. kg/cm ³	Feuchtigk. Gew.-%	Alter *) Wochen	
I	8,5	1,0	16Ø7 III	231	8	Gips-Sand	1:0,5	1,5	1350	10	6	Ölfeuerung
II	8,5	1,0	16Ø7 III	302	24	Gips-Sand	1:0,5	1,5	1320	6	10	Holzfeuerung
III	8,5	1,0	16Ø7 III	218	21	Zement-Kalk- Vermiculite	1,5:0,2 :4,5	1,5	641	20	17	Ölfeuerung
IV	8,5	1,0	16Ø7 III	266	13	Zement-Kalk- Vermiculite	1,0:0,2 :4,5	1,5	730	18	11	Ölfeuerung
V	8,5	1,0	16Ø7 III	282	8	Spezialputz auf Kalkbasis	-	1,5	800	9	6	Ölfeuerung
VI	8,5	1,0	16Ø7 III	235	11	unverputzt	-	-	-	-	-	
VII	8,5	1,0	16Ø7 III	306	13	unverputzt	-	-	-	-	-	Holzfeuerung

*) Das angegebene Alter bezieht sich auf den Zeitpunkt der Brandversuche

sie auch bei größeren Durchbiegungen voll wirksam blieb. Eigengewicht und die in Feldmitte aufgebrachte Einzellast waren so groß, daß durch ihr Zusammenwirken die rechnerisch zulässige Biegebeanspruchung (nach DIN 1045 $80/2400 \text{ kg/cm}^2$) erreicht wurde.

Während der Brandversuche wurde die jeweilige Versuchsdecke den Temperaturen der Einheitstemperaturkurve nach DIN 4102, Blatt 3 ausgesetzt. Temperaturmessungen erfolgten in der Brandkammer mit NiCr-Ni-Thermoelementen etwa 10 cm unter der zu prüfenden Konstruktion, mit Cu-Konst.-Thermoelementen an den Stahleinlagen (s. Anlage 29/30) der Stahlbetonkonstruktion und gleichmäßig verteilt auf der dem Feuer abgekehrten Seite der Decken. Zur Erfassung der auftretenden Durchbiegungen erfolgten vor und während der Versuche Messungen in Feldmitte an den Plattenrändern.

3.22 Meßergebnisse und Beobachtungen

In den nachfolgenden Zahlentafeln 20 - 22 sind die gemessenen Temperaturen und Deformationen sowie die festgestellten Beobachtungen zusammengestellt. Die Mittelwerte dieser Messungen sind in den Anlagen 31 und 32 graphisch aufgetragen.

Meßergebnisse an den Versuchsdecken I und II

Versuchsdauer (Min.)	Decke Nr. I (Gips-Sand-Putz)						Decke Nr. II (Gips-Sand-Putz)					
	Temp. im Brandhaus °C	Stahleinlagen		Temp.a.d.abgek. Seite		Durch- biegung Mittel (cm)	Temp. im Brandhaus °C	Stahleinlagen		Temp.a.d.abgek. Seite		Durch- biegung Mittel (cm)
		Mittel °C	Max. °C	Mittel °C	Max. °C			Mittel °C	Max. °C	Mittel °C	Max. °C	
0	-	-	-	-	-	0,10	-	-	-	-	-	0,45
5	433	-	-	-	-	0,15	400	40	48	-	-	0,65
10	601	36	38	-	-	0,20	660	77	92	-	-	0,85
15	753	59	62	-	-	0,20	770	114	131	28	28	1,25
20	805	88	90	-	-	0,30	780	134	156	33	34	1,45
25	865	97	99	25	26	0,30	780	163	192	38	44	1,75
30	891	100	101	31	33	0,30	840	194	226	48	58	2,05
40	950	123	134	48	54	0,30	856	246	278	69	88	2,70
50	975	163	170	57	62	0,30	939	287	322	82	90	3,40
60	1000	190	198	66	70	0,35	966	401	401	86	92	5,25
70	1009	224	231	77	83	0,40	976	466	466	87	94	6,65
80		251	258	83	88	0,50	1012	532	535	92	101	8,70
90	1030	268	294	85	90	0,50	1020	553	562	98	106	10,25
105	1040	305	314	88	92	0,55	Zusammenbruch 87. Minute					
120	1054	347	359	91	95	0,75						
135	1050	384	398	101	108	0,80						
150	1070	413	428	113	122	0,95						
165	1083	437	451	131	144	1,00						
180	1110	465	480	146	161	1,15						
195	1110	499	515	165	181	1,35						
210	1110	549	562	207	212	1,40						

Meßergebnisse an den Versuchsdecken III, IV und V

Ver- suchs- dauer (Min.)	Decke Nr. III (Zement-Kalk-Vermiculite-Putz)						Decke Nr. IV (Zement-Kalk-Perlite-Putz)						Decke Nr. V (Spezialputz auf Kalkbasis)					
	Temp. im Brandh. °C	Stahleinlagen Mittel °C	Stahleinlagen Max. °C	Temp. a. d. ab- gek. Seite Mittel °C	Temp. a. d. ab- gek. Seite Max. °C	Durch- biegung Mittel (cm)	Temp. im Brandh. °C	Stahleinlagen Mittel °C	Stahleinlagen Max. °C	Temp. a. d. ab- gek. Seite Mittel °C	Temp. a. d. ab- gek. Seite Max. °C	Durch- biegung Mittel (cm)	Temp. im Brandh. °C	Stahleinlagen Mittel °C	Stahleinlagen Max. °C	Temp. a. d. ab- gek. Seite Mittel °C	Temp. a. d. ab- gek. Seite Max. °C	Durch- biegung Mittel (cm)
0	-	-	-	-	-	0,15	-	-	-	-	-	0,10	-	-	-	-	-	0,05
5	455	9	10	-	-	0,15	462	9	12	-	-	0,15	385	25	26	-	-	0,15
10	544	28	29	-	-	0,20	612	25	29	-	-	0,25	646	47	48	-	-	0,25
15	724	41	41	-	-	0,25	698	35	37	-	-	0,40	700	50	51	-	-	0,30
20	718	53	54	7	8	0,25	725	41	42	4	5	0,45	775	56	58	16	17	0,30
25	854	62	65	11	11	0,35	886	48	48	7	8	0,50	830	66	70	17	17	0,35
30	914	70	73	16	17	0,35	945	57	61	12	13	0,55	850	70	74	22	22	0,40
40	944	84	85	24	27	0,50	952	71	72	18	19	0,70	914	83	94	27	29	0,45
50	954	92	93	30	34	0,55	969	84	89	24	27	0,75	961	95	115	32	35	0,60
60	1010	101	103	36	38	0,55	1000	92	99	32	36	0,80	1009	113	137	40	42	0,80
70	1037	121	126	41	43	0,60	1015	104	114	37	41	0,90	1029	132	167	49	51	0,90
80	1032	144	150	47	50	0,75	1034	121	137	43	47	1,10	983	146	186	55	56	1,05
90	986	170	176	56	63	0,90	1027	140	157	49	53	1,40	1005	160	202	63	64	1,05
105	1001	192	199	64	67	1,15	1062	170	190	58	65	1,75	1056	183	228	74	77	1,40
120	1052	217	225	67	71	1,40	1048	197	214	66	76	2,10	1025	213	261	80	83	1,80
135	1069	239	247	72	74	1,85	1105	221	240	74	85	2,70	1060	237	288	83	87	1,90
150	1032	265	273	76	82	2,20	1065	244	265	81	89	2,95	1070	256	309	85	90	2,05
165	1090	285	291	80	90	2,60	1099	265	287	84	91	3,30	1111	277	332	85	90	2,70
180	1114	306	315	83	93	3,30	1111	286	309	87	92	3,75	1100	301	359	86	90	3,00
195	1100	329	337	88	104	3,95	1107	309	334	89	96	4,20						
210	1100	346	346	94	107	4,40	1120	330	357	96	106	4,60						
225							1130	351	379	103	131	4,95						
240							1110	372	399	124	157	5,30						
255							1112	393	419	150	178	5,75						
270							1090	407	433	161	193	5,85						
285							1130	426	451	176	209	6,15						
300							1115	447	472	193	227	6,70						
315							1100	466	498	206	240	7,25						
330							1100	482	514	215	244	7,90						
345							1100	496	525	223	247	8,40						
360							1100	523	549	228	248	9,45						
375							1100	535	573	*)		10,95						
390							1100	570	600			14,15						
392							1100	575	606			-						
Zusammenbruch 392. Minute																		

Z a h l e n t a f e l 22

Meßergebnisse an den Versuchsdecken VI und VII

Versuchs- dauer (Min.)	Decke VI (unverputzt)						Decke VII (unverputzt)						
	Temp. im Brand- haus °C	Stahleinlagen		Temp.a.d.abgek. Seite		Durch- biegung Mittel (cm)	Versuchs- dauer (Min.)	Temp. im Brand- haus °C	Stahleinlagen		Temp.a.d.abgek. Seite		Durch- biegung Mittel (cm)
		Mittel °C	Max. °C	Mittel °C	Max. °C				Mittel °C	Max. °C	Mittel °C	Max. °C	
0	-	-	-	-	-	0,25	0	-	-	-	-	-	0,60
5	490	86	87	12	13	2,10	5	352	73	79	-	-	1,70
10	655	128	131	19	21	2,90	10	494	99	103	21	23	2,45
15	761	201	206	29	32	4,85	15	644	175	195	28	32	4,10
20	835	279	289	39	41	6,00	20	792	275	297	40	44	5,85
25	850	336	358	54	59	6,70	25	825	337	357	55	57	7,30
30	885	378	397	64	67	7,90	30	855	392	407	69	70	8,30
40	940	451	479	68	72	9,20	40	894	470	479	81	83	10,80
50	970	522	536	81	85	13,80	50	940	546	557	88	90	14,70
60	1005	569	594	86	87	23,90	54	-	574	586	-	-	22,90
63		Zusammenbruch					55		Zusammenbruch				

Beobachtungen beim Brandversuch an der Decke I

Versuchsdauer (Min.)	B e o b a c h t u n g e n
0. - 100.	Wesentliche Putzabplatzungen auf der dem Feuer zugekehrten Deckenseite konnten nicht festgestellt werden.
100.	Bis auf ganz geringe Abplatzungen der Glattschicht ist der Deckenputz noch vollständig erhalten.
115.	Die Versuchsdecke ist im Mittelpunkt um etwa 2 cm stärker durchgebogen als an den Rändern.
140.	Die Deckenunterseite zeigt wabenartige Risse in der Putzfläche.
210.	Der Brandversuch mußte infolge Stromausfalls abgebrochen werden.

Beobachtungen beim Brandversuch an der Decke II

Versuchsdauer (Min.)	B e o b a c h t u n g e n
3.	Auf der geputzten Deckenunterseite fallen große Teile der Glattschicht, etwa 0,5 mm dick, ab.
22.	Auf der dem Feuer abgekehrten Seite wird Kondenswasserbildung festgestellt.
45.	Im mittleren Drittel der Versuchsdecke ist eine etwa 1,0 m ² große Putzfläche vollständig abgefallen.
70.	Auf der Deckenoberseite werden in Längsrichtung verlaufende 1 bis 2 mm breite Risse festgestellt.
87.	Die Versuchskonstruktion stürzt zusammen.

Anm.: Der frühere Einsturz ist nicht auf die Holzfeuerung sondern auf eine unzureichende Austrocknung des Putzes zurückzuführen.

Beobachtungen beim Brandversuch an der Decke III

Versuchsdauer (Min.)	B e o b a c h t u n g e n
32.	Die geputzte Deckenunterseite zeigt keinerlei Veränderungen.
43.	Die Putzfläche ist mit gleichmäßig verteilten, wabenartigen Haarrissen bedeckt.
83.	Die Risse auf der dem Feuer zugekehrten Deckenseite vergrößern sich.
186.	Auf der dem Feuer zugekehrten Seite der Stahlbetonplatte wird ein Längsriß sichtbar.
210.	Der Brandversuch muß infolge eintretender Dunkelheit abgebrochen werden.

Beobachtungen beim Brandversuch an der Decke IV

Versuchsdauer (Min.)	B e o b a c h t u n g e n
3.	Es werden vereinzelte, feine Risse auf der geputzten Deckenunterseite sichtbar.
6.	Die Glattschicht des Putzes fällt teilweise ab.
133.	Auf der dem Feuer abgekehrten Seite wird ein Längsriß sichtbar. Gleichzeitig stellt sich leichte Wasserdampfentwicklung ein.
225.	Die dem Feuer zugekehrte, geputzte Deckenseite ist weiterhin unverändert.
392.	Zusammenbruch der Deckenkonstruktion. Versuchsende.

Beobachtungen beim Brandversuch an der Decke V

Versuchsdauer (Min.)	B e o b a c h t u n g e n
5.	Die unterste Putzschicht (Glattschicht) ist in einer Dicke von etwa 0,3 cm zum größten Teil abgefallen. Während des weiteren Brandversuches keine weiteren Veränderungen der Putzschicht.
110.	Kondenswasserbildung und Wasserdampfentwicklung auf der Deckenoberseite.
180.	Versuch abgebrochen. Löschwasserprobe. Durch die Löschwasserprobe wurde die Putzschicht im Bereich des Wasserstrahls bis auf den Spritzvorwurf von der Decke abgespült.

Beobachtungen beim Brandversuch an der Decke VI

Versuchsdauer (Min.)	B e o b a c h t u n g e n
5.	Kondenswasserbildung an verschiedenen Stellen der dem Feuer abgekehrten Seite.
18.	Die Durchbiegung in Plattenmitte ist etwas größer als an den seitlichen Rändern.
35.	Auf der dem Feuer abgekehrten Seite sind mehrere Querrisse festzustellen.
55.	Schnell größer werdende Durchbiegung.
63.	Zusammenbruch der Versuchsdecke. Ende des Brandversuches.

Beobachtungen beim Brandversuch an der Decke VII

Versuchsdauer (Min.)	B e o b a c h t u n g e n
16.	Auf der dem Feuer abgekehrten Seite wird ein Längsriß in der Platte sichtbar, an dem gleichzeitig Kondenswasserbildung festgestellt wird.
50.	Schnell stärker werdende Durchbiegung.
55.	Zusammenbruch der Deckenkonstruktion. Ende des Brandversuches.

3.3 Zusammenfassung der Ergebnisse

3.31 Stahlträgerdecken mit untergehängten Putzdecken

Es wurden Stahlträgerdecken mit untergehängten Putzdecken in Großversuchen auf ihre Widerstandsfähigkeit gegen Feuer geprüft. Wie bei den Kleinbrandversuchen wurden die ausgewählten Putze 2 cm dick über Putzträger in den entsprechenden Mischungsverhältnissen ausgeführt.

Die auf den Putzschichten und an den Stahlträgern gemessenen Temperaturen haben im Großen und Ganzen gesehen die Ergebnisse der Kleinbrandversuche bestätigt. Die Meßergebnisse sind in die Diagramme der Anlagen 26 - 29 eingetragen.

Es hat sich gezeigt, daß nach 90 Minuten Versuchsdauer an den Stahlträgern, mit einer Ausnahme, Temperaturen von mehr als 250° C aufgetreten sind. Auf der anderen Seite hat sich die Durchbiegung in relativ geringen Grenzen gehalten. Damit hat lediglich eine der geprüften Versuchsdecken die Anforderungen, die nach der jetzt gültigen Fassung der DIN 4102 an feuerbeständige Stahlträgerdecken gestellt werden, erfüllt. Trotzdem ist das Verhalten der Konstruktionen während der ersten 90 Minuten bezüglich ihrer Durchbiegung und Einsturzes, sowie die Temperatur auf der dem Feuer abgekehrten Seite der Decken feuer-technisch günstiger als erwartet wurde.

Das Verhalten der Gesamtkonstruktion hängt zuerst vom Verhalten der Unterdecke selbst ab. Auch bei Unterdecken aus Isolierputzen reicht der Feuerschutz noch nicht aus, um den Stahlträger feuerbeständig im Sinne der jetzigen Vorschrift zu schützen. Die Temperaturen steigen auf mehr als 250° C an, ohne aber die Gefahr eines Versagens der Konstruktion erkennen zu lassen. Diese Erkenntnis sowie die Erkenntnisse über das Absinken der Streckgrenze von Baustählen unter die Gebrauchsspannung zeigen, daß bei Temperaturen am Profilstahl von weniger als 450° C bis 500° C eine Gefahr des Versagens noch nicht eintritt. Dieses lassen auch Versuche an ummantelten Stahlträgern erkennen (vgl. Kristen-Wierig, "Ermittlung des Einflusses der Querschnittsgröße von ummantelten Stahlträgern auf das Ergebnis von Brandversuchen", Forschungsauftrag des Bundesministeriums für Wohnungsbau, Az. II/5 - 6073 Nr. 70) bei denen das Versagen unter Belastung durch Kippen des Oberflansches bei Temperaturen

von etwa 550° C erfolgte. Ausländische Versuche haben dieses ebenfalls bestätigt. Die Gefahr eines Versagens dürfte noch geringer sein, wenn der Obergurt der Träger gegen seitliches Ausweichen durch Betonplatten o.ä. gesichert ist.

Diese Ergebnisse und Folgerungen geben auch eine Antwort auf die Frage, bei welcher Temperatur die Stahlträger von Deckenkonstruktionen nicht mehr feuerbeständig sein können. Da diese Versuchsergebnisse sowie frühere Untersuchungen gezeigt haben, daß das Versagen sowohl von Stahl - als auch von Stahlbetonkonstruktionen erst bei Stahltemperaturen von mehr als 500° C zu erwarten ist, ist eine Begrenzung der höchstzulässigen Temperaturgrenze am Stahl nicht zweckmäßig. Dieses ist auch mit Rücksicht auf die bei Stahlbetondecken nicht vorhandene Begrenzung einer höchstzulässigen Stahltemperatur gerechtfertigt. Einzige Bedingung dürfte neben der höchsten Erwärmung auf der dem Feuer abgekehrten Seite die Wahrung des Tragvermögens und der Standfestigkeit der Konstruktion während des Brandversuches sein.

3.32 Verputzte Stahlbetondecken

Zur Überprüfung der bei Kleinbrandversuchen an Stahlbetonplatten gewonnenen Ergebnisse wurden 7 unverputzte und verputzte Stahlbetonplatten mit größeren Abmessungen Brandversuchen unterzogen. Dabei wurden jene Putzarten verwendet, die sich bei den Kleinbrandversuchen als besonders günstig erwiesen.

Nur ein Teil dieser Versuchsdecken ist bis zum Versagen geprüft worden, da festgestellt werden sollte, inwieweit zunächst während einer 1 1/2-stündigen = feuerbeständigen Prüfzeit die gemessenen Temperaturen und Durchbiegungen mit denen der Kleinbrandversuche übereinstimmen und nach 90 Minuten Versuchsdauer eine weitere Verwendung der Konstruktion noch möglich ist, sofern die Feuerbeständigkeit gewahrt ist.

Lediglich bei einer geputzten Versuchsdecke, die vorzeitig einstürzte, wurde ein schlechteres Verhalten als bei den Kleinbrandversuchen festgestellt. Das frühzeitige Versagen ist auf eine ungenügende Putzhaftung infolge zu kurzer Austrocknung des Putzes zurückzuführen. Bei allen anderen Decken lassen die Zusammenbruchszeiten bzw. die am Bewehrungsstahl gemessenen Temperaturen auf ein günstigeres Verhalten gegenüber den Klein-

versuchen schließen. Das ist nicht zuletzt auf die größere Querschnittshöhe bzw. die Querschnittsabmessungen der Stahlbetonplatte zurückzuführen. Die gemessenen Temperaturen an den Stahleinlagen sind in Abhängigkeit der Versuchsdauer in den Anlagen dargestellt.

Die bei den Kleinversuchen angestellten Vergleiche einer theoretischen Durchbiegungsermittlung mit den bei den Versuchen ermittelten unmittelbar vor dem Zusammenbruch zeigen auch bei den Großversuchen eine deutliche Übereinstimmung. Die Vergleichswerte sind in der nachfolgenden Zahlentafel 23 zusammengestellt.

Zahlentafel 23

Stützweite: $l = 260$; Dicke: $d = 8,5$ cm; $\max.f = \frac{l^2}{800d} = 9,9$ cm

Bez. der Versuchsplatte	Überschreitung der maximal zulässigen Durchbiegung (Min.) t_1	Zeitpunkt des Zusammenbruchs (Min.) t_2	Gemessene Durchbieg. unmittelbar vor dem Zusammenbruch	Sicherheitsfaktor $V = \frac{t_1}{t_2}$
I	nicht über 90 Min. gemessen			
II	85	87	10,25	1,025
III	nicht über 210 Min. gemessen			
IV	365	392	14,15	1,075
V	nicht über 180 Min. gemessen			
VI	43	63	23,9	1,146
VII	38	55	22,9	1,145

4. Erkenntnisse aus den Versuchsergebnissen

4.1 Möglicher Feuerschutz durch Putze

Bekanntlich ist das Versagen tragender Konstruktionen in erster Linie auf die Erwärmung der Stahleinlagen oder Stahlprofile zurückzuführen. Der Schutz in feuertechnischer Hinsicht ist je nach Bauart der Konstruktion durch verschiedene Maßnahmen möglich. In jedem Fall wird es sich bei Stahlkonstruktionen um eine Ummantelung oder um eine abgehängte Putzunterdecke, bei Stahlbetonkonstruktionen meist um einen direkt aufgetragenen Putz und die vorhandene Betonüberdeckung der Stahleinlagen handeln.

Das grundsätzliche Verhalten dieser Isolierschichten ist in den beschriebenen Versuchen geklärt worden. Es wurde festgestellt, daß die Isolierfähigkeit einer Schutzschicht von ihrer Dicke, ihrem Feuchtigkeitsgehalt und ihrem Raumgewicht im wesentlichen abhängt. Abgesehen von der Putzdicke spielt das Raumgewicht des Putzes die größte, seine Feuchtigkeit eine geringere Rolle. Die Feuchtigkeit eines Putzes wird in der Regel in den ersten 30 Minuten des Brandes herausgedrängt und bedeutet nur eine geringe Verzögerung. Dagegen haben Versuche gezeigt, daß das Raumgewicht der Schutzschicht für das Gesamtverhalten von Bedeutung ist.

H. Busch hat in seiner Arbeit "Feuereinwirkung auf nicht brennbare Baustoffe und Baukonstruktionen" ein Verfahren entwickelt, wonach es möglich ist, die Temperaturerhöhung im Innern einer Platte bei beliebig verlaufender Oberflächentemperaturen festzustellen. Graphische Darstellungen ermöglichen es, den Temperaturverlauf im Innern der Platte an einzelnen Punkten zu ermitteln, wobei die amerikanische Temperaturzeitkurve als Oberflächentemperatur angenommen wird. Die Ermittlung der Temperatur in einer beliebigen Tiefe zu einem bestimmten Zeitpunkt des Versuches ist in Abhängigkeit von der Temperaturleitzahl zu ermitteln. Die Temperaturleitzahl wiederum ist abhängig von der Wärmeleitfähigkeit $\lambda \frac{\text{kcal}}{\text{m} \cdot \text{h} \cdot \text{°C}}$, dem Raumgewicht und der spezifischen Wärme. Diese Theorie gilt aber streng genommen für eine unendlich dicke Wand und bei Einführung der Heizkurve als Oberflächentemperatur. Wenn man aber die als bekannt vorausgesetzte Temperatur des Feuer-raumes als Oberflächentemperatur einführt, so würde man für kleine Tiefen und dementsprechend auch bei dünnen Platten fehlerhafte Werte errechnen.

Dieses Nachhinken der wirklichen Oberflächentemperatur hinter der Brandhaustemperatur ist abhängig vom Verhältnis s der Wärmeleitzahl zur Wärmeübergangszahl. Wenngleich Busch einige Werte der temperaturabhängigen Wärmeleitzahlen und auch einige Zahlen für die Wärmeübergangszahlen angibt, so ist es jedoch nach dem Verfahren Busch noch nicht gut möglich exakte und eindeutige Werte z.B. für die Erwärmung tragender Stahleinlagen in ca. 2,5 cm Tiefe, die auf das Versagen einer Deckenplatte schließen lassen, anzugeben.

Es müßte jedoch möglich sein unter Verwendung der von Busch aufgezeigten Wege nach genauerer Kenntnis der Stoffkonstanten die auftretenden Temperaturen in verschiedener Tiefe der Isolierfläche mit Näherungsverfahren zu bestimmen. Aus graphischen Tabellen oder Faustformeln sollte die Isolierwirkung an Putzen und Betonen ermittelt werden. Dabei werden sich "Sicherheitsfaktoren" für einen bestimmten Putz von bestimmten Raumgewicht ergeben, die es vorab möglich machen, die im Brandfalle auftretenden Temperaturen an den Stahleinlagen zumindest größenordnungsmäßig zu einem bestimmten Zeitpunkt zu bestimmen. Die Anwendung auf die im Rahmen dieses Forschungsauftrages durchgeführten Brandversuche zeigt eine recht deutliche Übereinstimmung der im Versuch und theoretisch ermittelten Temperaturmeßwerte.

4.2 Vorschläge für DIN 4102

In der zur Zeit gültigen Fassung von DIN 4102 - Ausgabe November 1940 - wird theoretisch die Tragfähigkeit von Stahlbauteilen als erschöpft angesehen, wenn sich Balken aus Profilstahl auf 250°C und solche Stützen auf 350°C erwärmen. Diese Bestimmung entspricht nicht den neuen Erkenntnissen. Wie in den vorigen Abschnitten und bei den Versuchen ermittelt, ist vor allen Dingen bei Stahlträgern eine höhere Erwärmung unter Beibehaltung der vollen Tragfähigkeit möglich, insbesondere dann, wenn die Obergurte der Profile gegen seitliches Ausweichen gehalten sind.

Bei Stahlbetonkonstruktionen ist zweifellos eine steifere Ausbildung der Konstruktionen vorhanden. Das hat wahrscheinlich dazu geführt, bisher keinerlei Festlegungen bezüglich der höchstzulässigen Grenzen der Stahleinlagen zu treffen, so daß das Versagen einer Stahlbetonkonstruktion lediglich vom Zusammenbruch abhängig gemacht wurde, sofern die übrigen Anforderungen der DIN 4102 erfüllt wurden. Dadurch wurde es möglich, daß Konstruktionen, bei denen der Bewehrungsstahl bereits sehr stark im plastischen Bereich lag und die damit unmittelbar vor dem Zusammenbruch standen, trotzdem die entsprechenden Anforderungen der DIN 4102 theoretisch erfüllen konnten, so daß einer praktischen Anwendung Genüge getan war.

Diese beiden Gesichtspunkte, die eine unterschiedliche Beurteilung von Stahl- und Stahlbetonkonstruktionen bisher zur Folge hatten, sind einander anzugleichen, so daß eine möglichst ein-

heitliche Beurteilung brandgefährdeter Konstruktionen in Zukunft möglich ist.

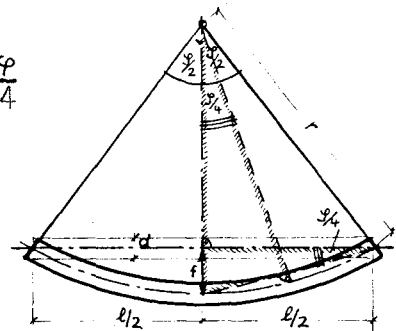
Da bei Stahlbetonkonstruktionen das Versagen der Konstruktion unter Feuerbeanspruchung bisher vom tatsächlichen Zeitpunkt des Zusammenbruches abhängig gemacht wird, wäre es zweckmäßig bei der Neufassung der DIN 4102 wie es in den übrigen Ländern ebenfalls geplant ist, den Zeitpunkt des Versagens nach der Durchbiegung zu begrenzen. Bei einer Erwärmung der Stahleinlagen auf etwa 500°C ist praktisch kein Tragvermögen mehr vorhanden. Eine starke Dehnungszunahme der Stahleinlagen ist aber nicht immer klar erkennbar. Oftmals, vor allem bei höherwertigen Betonstählen tritt der Zusammenbruch mit einer sehr plötzlich eintretenden starken Durchbiegungszunahme ein. Bei einer Begrenzung der Durchbiegung nach dem amerikanischen Vorschlag wird, wie die nachfolgende Rechnung zeigt, die auftretende Durchbiegung bei einer Stahltemperatur von etwa 500°C als höchstzulässige Grenze angesehen.

Aus einer geometrischen Überlegung (Abb. 2) ergibt sich die Durchbiegung f wie folgt:

$$f = r \left(1 - \cos \frac{\varphi}{2} \right) = \frac{1}{2} \cdot \operatorname{tg} \frac{\varphi}{4}$$

$$\operatorname{tg} \frac{\varphi}{4} \approx \frac{\varphi}{4} = \frac{1}{4r}$$

Somit: $f = \frac{l^2}{8r} \quad (1)$



In Gl. 1 ist r zunächst unbekannt und muß aus dem Längenunterschied der Randfasern berechnet werden. Dabei wird als Längenänderung der dem Feuer zugekehrten Seite die Dehnung der Stahleinlagen bei ihrer Temperatur angesetzt und die Dehnung der Betonfasern im Bereich der Zugzone vernachlässigt.

$$\frac{r}{l} = \frac{r + \frac{d}{2}}{l + \Delta l} \quad r = \frac{l \cdot d}{\Delta l} \quad (2)$$

Gleichung 2 geht durch Einsetzen von $\Delta l = \alpha_t \cdot \Delta t \cdot l$ über in:

$$r = \frac{l \cdot d}{t \cdot \alpha_t \cdot l} = \frac{d}{t \cdot \alpha_t} \quad (3)$$

Eingesetzt in Gleichung (1) ergibt sich

$$f = \frac{l^2}{8r} = \frac{l^2 \cdot \Delta t \cdot \alpha_t}{8d} \quad (4)$$

Bei einer Temperaturerhöhung der Stahleinlagen auf 500° C ergibt sich bei einem Ausdehnungskoeffizienten von Stahl bei Temperaturen von 0 - 500° C

$$\alpha_t = 14 \cdot 10^{-6}$$

Somit ergibt sich die Durchbiegung einer Stahlbetonkonstruktion, jedoch ohne Belastung lediglich infolge der Längenänderung der Stahleinlagen unter der Temperatur zu

$$f = \frac{l^2 \cdot 14 \cdot 10^{-6} \cdot 500}{8d}$$
$$f = 0,7 \cdot \frac{l^2}{800d} \quad (5)$$

Die Durchbiegung infolge Temperaturerhöhung der Stahleinlagen in einer Stahlbetonkonstruktion sind zunächst erheblich größer als die Durchbiegung unter der Belastung. Bei längerer Dauer des Brandes wirkt sich durch folgende Änderungen der Materialeigenschaften die Belastung dabei noch stärker aus:

- a) der E-Modul des Betons nimmt ab.
- b) das Verhältnis $n = \frac{E_e}{E_b}$ wird größer, da E_b schneller abnimmt als E_e
- c) bei hohen Temperaturen folgt der Betonstahl nicht mehr dem Hookschen Gesetz, so daß die Dehnungen des Stahles unter einer bestimmten Spannung unverhältnismäßig größer werden.

Amerikanische Versuche haben gezeigt *), daß die Tragfähigkeit von Stahlbetonkonstruktionen praktisch erschöpft sind, wenn ihre Durchbiegung einen Wert von $f = \frac{l^2}{800d}$ annimmt. Die angestellten theoretischen Betrachtungen und die im Institut durchgeführten Versuche haben diesen Wert bestätigt.

Es erscheint daher zweckmäßig auch für die Neufassung der DIN 4102 diesen Begrenzungswert für die Durchbiegung einzuführen, um bei Konstruktionen, deren Durchbiegung am Versuchsende (z.B. 90 Minuten) stark anwächst und die dadurch unmittelbar vor dem Zusammenbruch steht, eine erforderliche Sicherheit im Hinblick auf den Einsturz zu haben.

*) Dr. Robertson, Washington
C.J.B./C.T.F. Meeting, London 30.5. - 1.6.60

Die Untersuchungen unter Verwendung verschiedener Putzarten haben im Hinblick auf die Neufassung von DIN 4102 zu folgenden Ergebnissen geführt:

a) Stahldeckenkonstruktionen

Die Tragfähigkeit, die bei normalen Deckenkonstruktionen wohl als einziger Faktor für die Nichterfüllung der Anforderungen, die an feuerbeständige Bauteile gestellt werden, infrage kommt, kann durch eine geputzte Unterdecke zeitlich entsprechend vergrößert werden, selbst wenn auf der Oberseite der geputzten Unterdecken am Ende einer 90 Minuten langen Feuerbeanspruchung Temperaturen von mehr als 400°C erreicht werden, ist mit einem Einsturz der Konstruktion durch zu hohes Erwärmen der Stahlträger noch nicht zu rechnen. Da auf der anderen Seite die Temperaturen auf der dem Feuer abgekehrten Seite zum gleichen Zeitpunkt immer noch unter 180°C also unter den zulässigen Temperaturen, die die Neufassung der DIN 4102 für die dem Feuer abgekehrten Seiten zulassen wird, liegt, ist auch hier wieder das Verhalten der Gesamtkonstruktion für ein evtl. Versagen maßgebend.

Aus der Vielzahl der Brandversuche kann dementsprechend gefolgert werden, daß eine Einsturzgefahr bei Konstruktionen, die mit einem 2,0 cm dicken Putz auf Rippenstreckmetall geschützt sind, nach Minuten noch nicht vorliegt, sofern dieser Putz ein Raumgewicht aufweist, daß geringer als $R = 1700\text{ kg/m}^3$ ist.

Für DIN 4102, Bl. 2 wird daher vorgeschlagen: "Als feuerbeständig gelten Stahlträgerdecken, bei denen der Obergurt der Träger gegen seitliches Ausweichen gesichert ist, wenn sie durch eine Unterdecke, die aus einem 2 cm dicken Putz, gemessen über Putzträger, auf Rippenstreckmetall gegen Feuerangriff geschützt ist. Das Raumgewicht des Putzes darf $R = 1700\text{ kg/m}^3$ nicht überschreiten".

b) Stahlbetonplattenkonstruktionen

Ein entsprechender Schutz durch Putz ist selbstverständlich bei Stahlbetonkonstruktionen auch möglich. Da dabei zur Putzwirkung noch die allerdings geringere Wirkung der Betonüberdeckung hinzutritt, können in diesem Fall auch noch Putze von höherem Raumgewicht entsprechenden Feuerchutz leisten. Die Temperaturen auf der dem Feuer abgekehrten Seite bleiben ebenfalls unter der in Zukunft zuläs-

sigen Grenze. Dementsprechend können in DIN 4102, Bl. 2 folgende Stahlbetonkonstruktionen als feuerbeständig ohne besonderen Nachweis aufgenommen werden: "Als feuerbeständig gelten Stahlbetonplatten von mehr als 7 cm Dicke bei einer Betonüberdeckung der Stahleinlagen von mindestens 1 cm, wenn sie auf ihrer Unterseite durch einen 1,5 cm dicken Putz geschützt sind. Bei dem Putz darf es sich um keinen reinen Zement-Mörtel oder um einen Putz vom Raumgewicht $R = 1850 \text{ kg/m}^3$ handeln."

5. Schlußfolgerungen

Im Rahmen dieses Forschungsauftrages wurden Brandversuche an Stahl- und Stahlbetonkonstruktionen zunächst in Kleinversuchen durchgeführt, deren Ergebnisse dann in anschließenden Großversuchen nachgeprüft werden sollten. Die tragenden Konstruktionen wurden durch gleichdicke Putzschichten, jedoch bei unterschiedlichen Bindemitteln und Zuschlagstoffen geschützt. Die Versuchsergebnisse haben gezeigt, daß es nicht zweckmäßig ist, bei Stahlkonstruktionen die höchstzulässige Temperaturgrenze bei der Neufassung der DIN 4102 erneut zu begrenzen, sofern der Obergurt gegen seitliches Ausweichen gehindert wird.

Darüberhinaus wurde die Erkenntnis gewonnen, daß die Isolierfähigkeit von Putzen in erster Linie vom Raumgewicht abhängt und daß Konstruktionen mit einer entsprechenden Putzschicht als feuerbeständig angesehen werden können, wenn das Versagen der Konstruktion als alleiniges Kriterium maßgebend ist.

Die Versuche haben außerdem gezeigt, daß der Zeitpunkt des Zusammenbruches einer Konstruktion bei hoher Plastizität an den Stahlgliedern geringfügig schwanken kann und daß eine Durchbiegungszunahme unmittelbar vor dem Zusammenbruch sehr schnell erfolgt. Dieses erfordert eine Definition für den Zeitpunkt des Zusammenbruchs, die so aufzustellen ist, daß eine entsprechende Sicherheit gewährleistet ist und nicht Versuchstoleranzen und Beeinflussungen aus konstruktiven Anordnungen beim Versuch eine künstliche Herausögerung des Zusammenbruchs bedeuten.

Entsprechend den gewonnenen Kenntnissen wird für die DIN 4102 in ihrer Neufassung vorgeschlagen:

1. "Die Tragfähigkeit einer tragenden Stahlbetonkonstruktion gilt dann als erschöpft, wenn die Durchbiegung maximal $f = \frac{l^2}{800d}$ pro Minute beträgt."
2. "Als feuerbeständig gelten Stahlträgerdecken, bei denen der Obergurt der Träger gegen seitliches Ausweichen gesichert ist, wenn sie durch eine Unterdecke, die aus einem 2 cm dicken Putz, gemessen über Putzträger, auf Rippenstreckmetall gegen Feuerangriff geschützt ist. Das Raumgewicht des Putzes darf $R = 1700 \text{ kg/m}^3$ nicht überschreiten."
3. "Als feuerbeständig gelten Stahlbetonplatten von mehr als 7 cm Dicke bei einer Betonüberdeckung der Stahleinlagen von mindestens 1 cm, wenn sie auf ihrer Unterseite durch einen 1,5 cm dicken Putz geschützt sind. Bei dem Putz darf es sich um keinen reinen Zement-Mörtel oder um einen Putz vom Raumgewicht $R \geq 1850 \text{ kg/m}^3$ handeln."

Aus den Einzeluntersuchungen von Putzen wurden die Zusammenhänge zwischen Raumgewicht, spezifischer Wärme und Wärmeleitzahl näher untersucht und eine theoretische Grundlage geschaffen, die durch Erweiterung der von Busch aufgestellten Tabellen die theoretische Isolierwirkung von Putzen bei unterschiedlicher Dicke feststellen läßt.

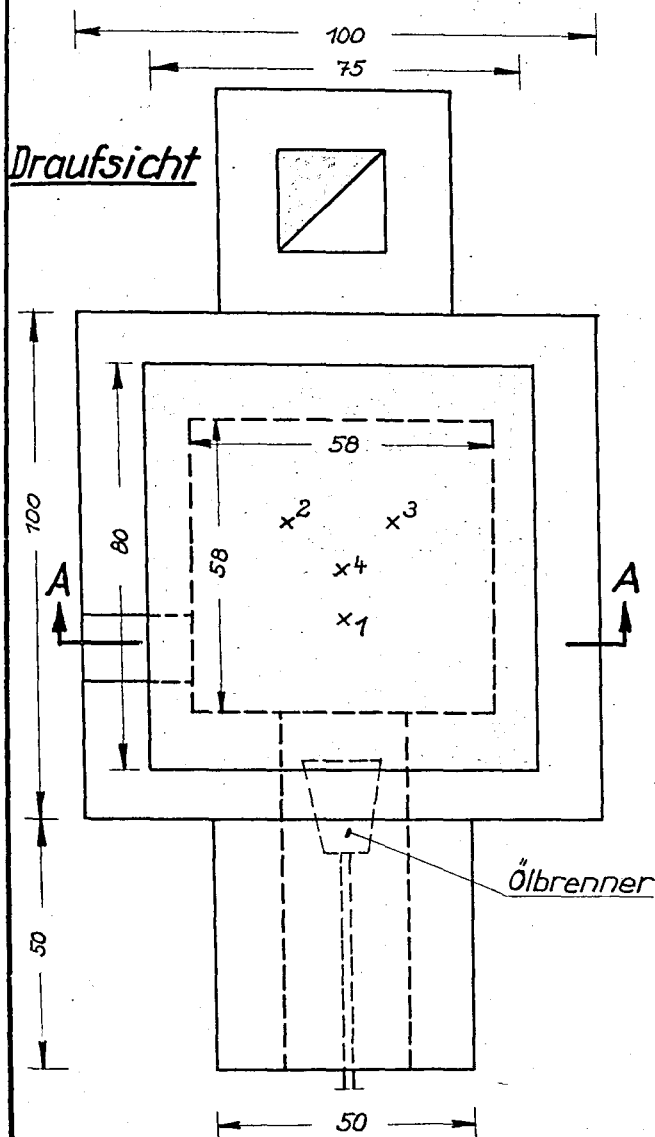
A n l a g e n

1 - 32

Ölbrandofen M.1:15

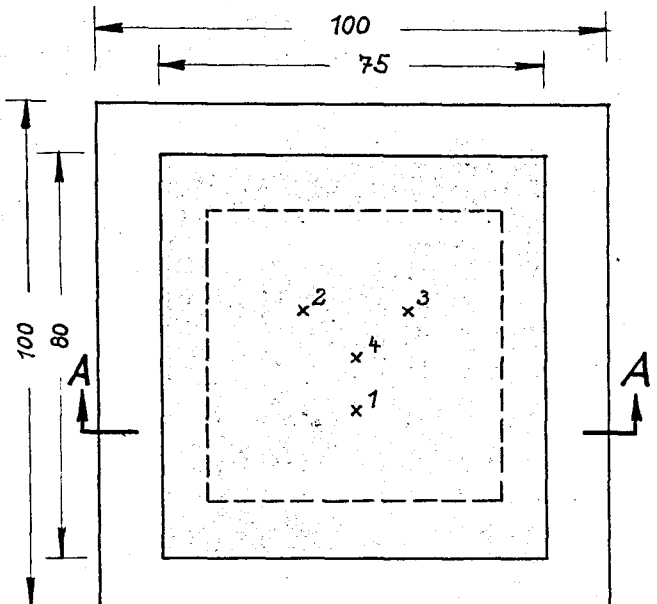
x) 1-4 Temperaturmeßstellen

Draufsicht



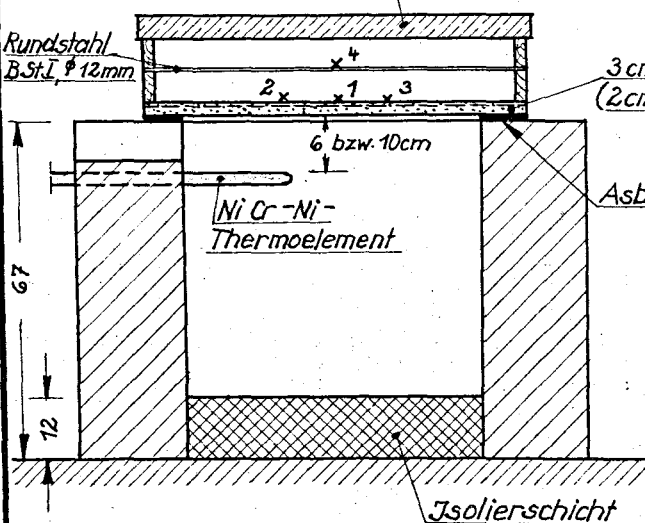
Elektro-Ofen M.1:15

Draufsicht



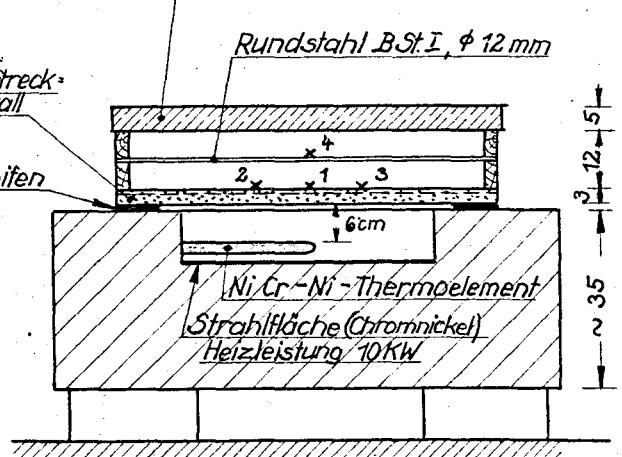
Schnitt A-A

Betonabdeckplatte, 50 mm dick



Schnitt A-A

Betonabdeckplatte, 50 mm dick



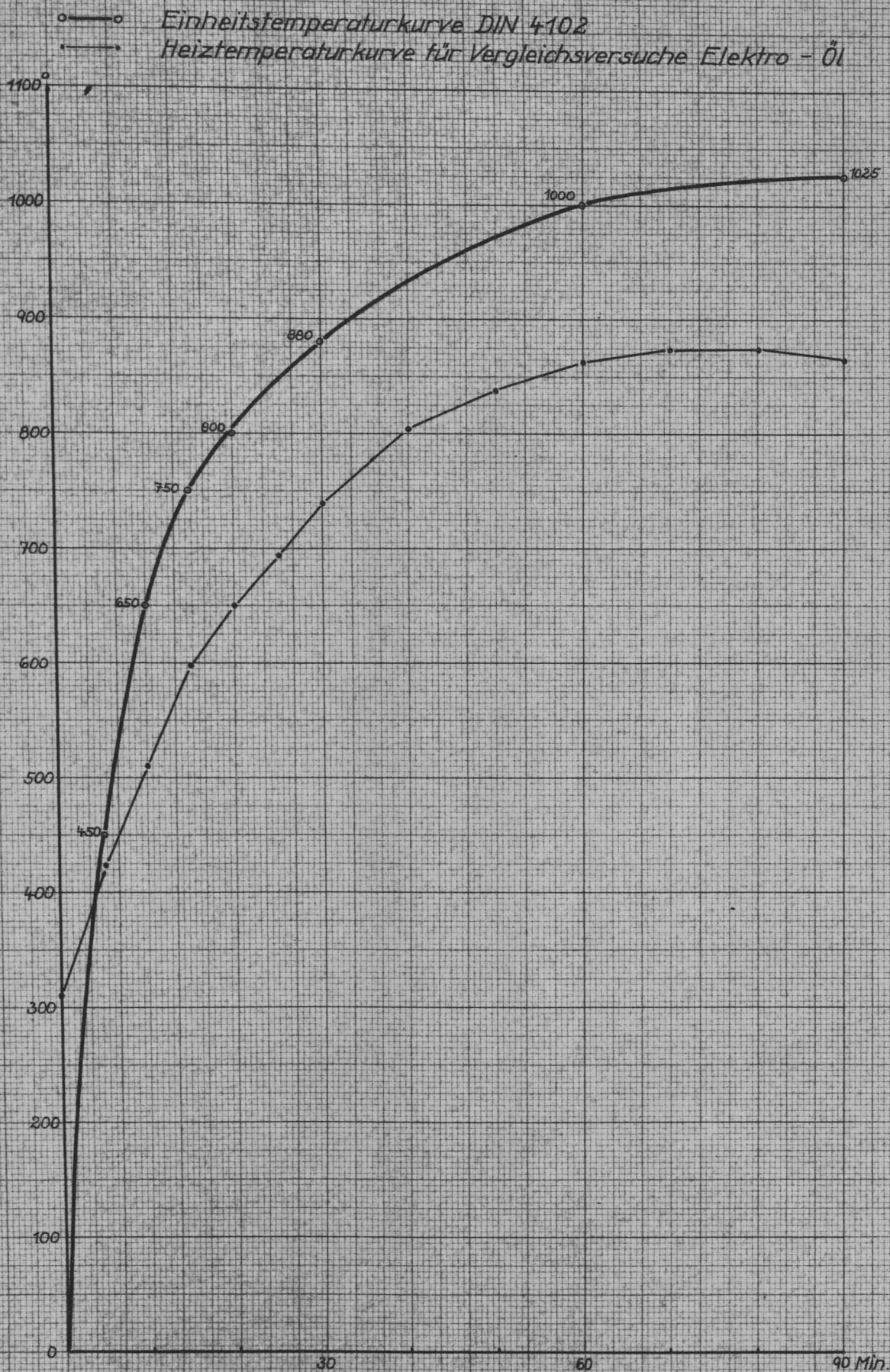


Abb. 1 Vergleichsversuche: Elektro-Öfen
(Kalkgips-Putz)

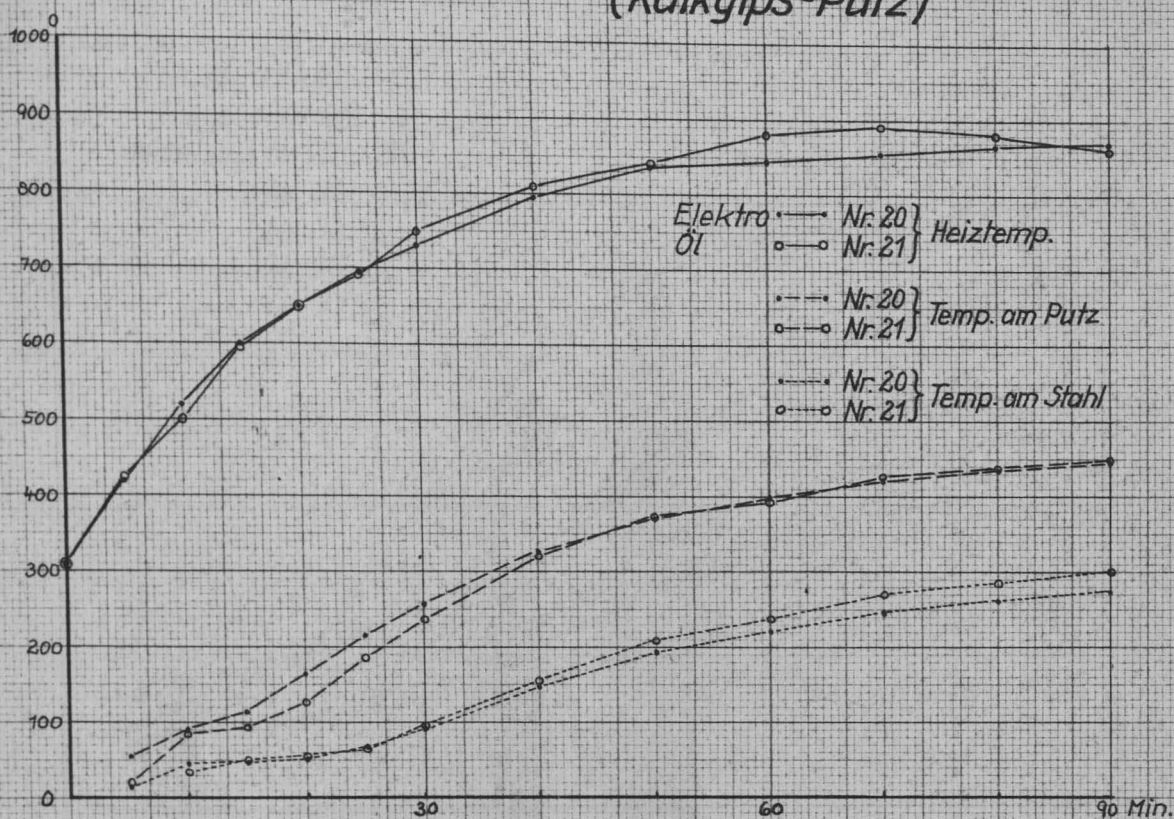


Abb. 2 Sandputze

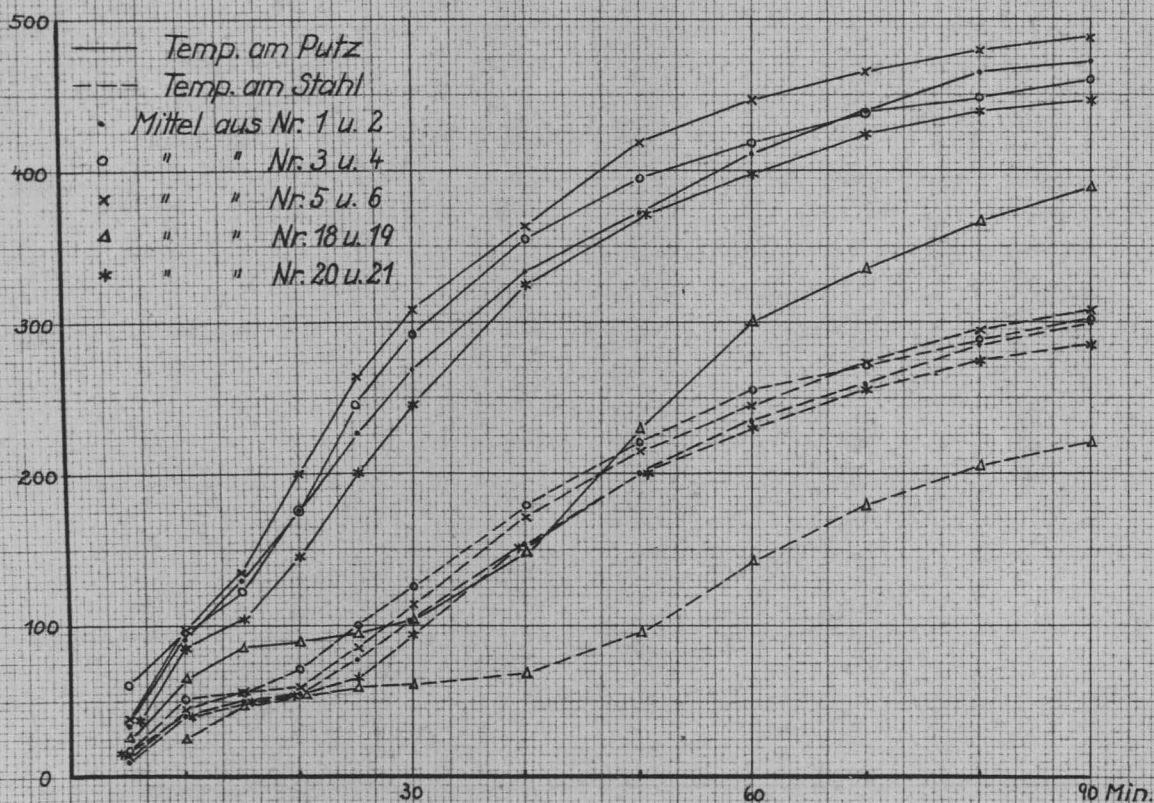


Abb. 1 Vermiculite-Putze (Einfluß des Mischungsverhältnisses)

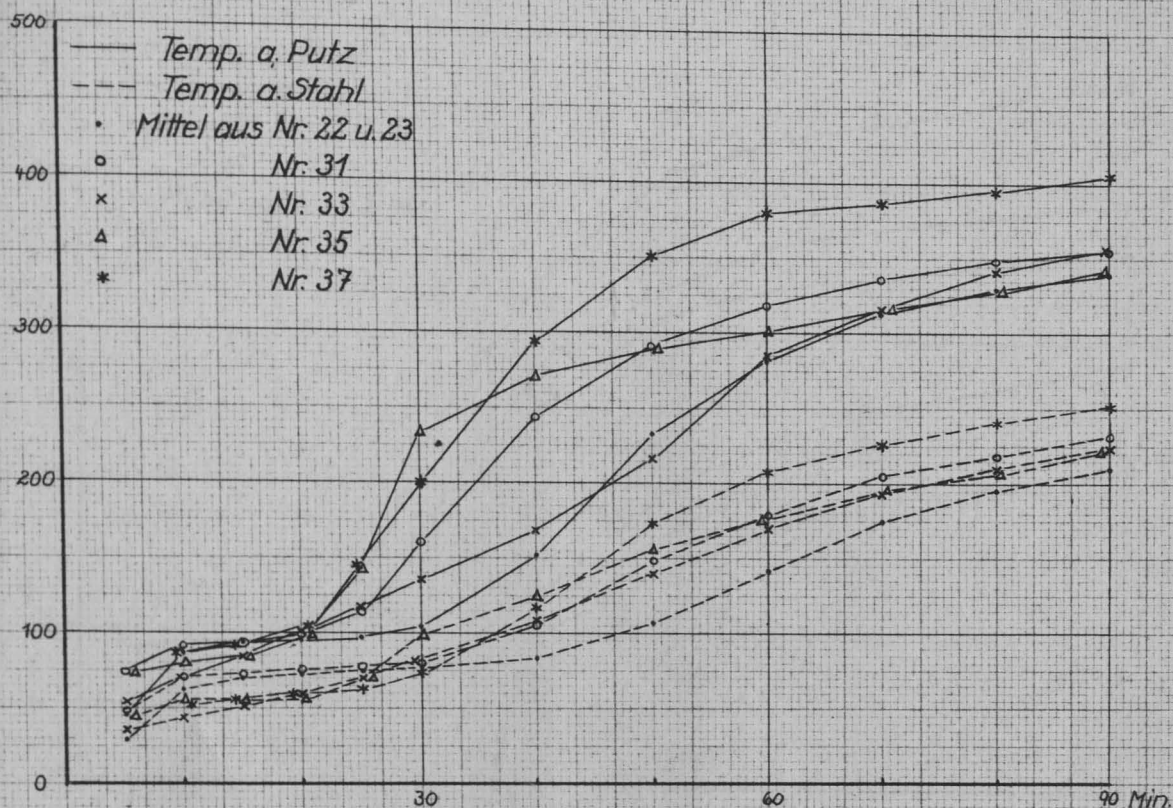


Abb. 2 Vermiculite-Putze (Einfluß des Feuchtigkeitsgehaltes)

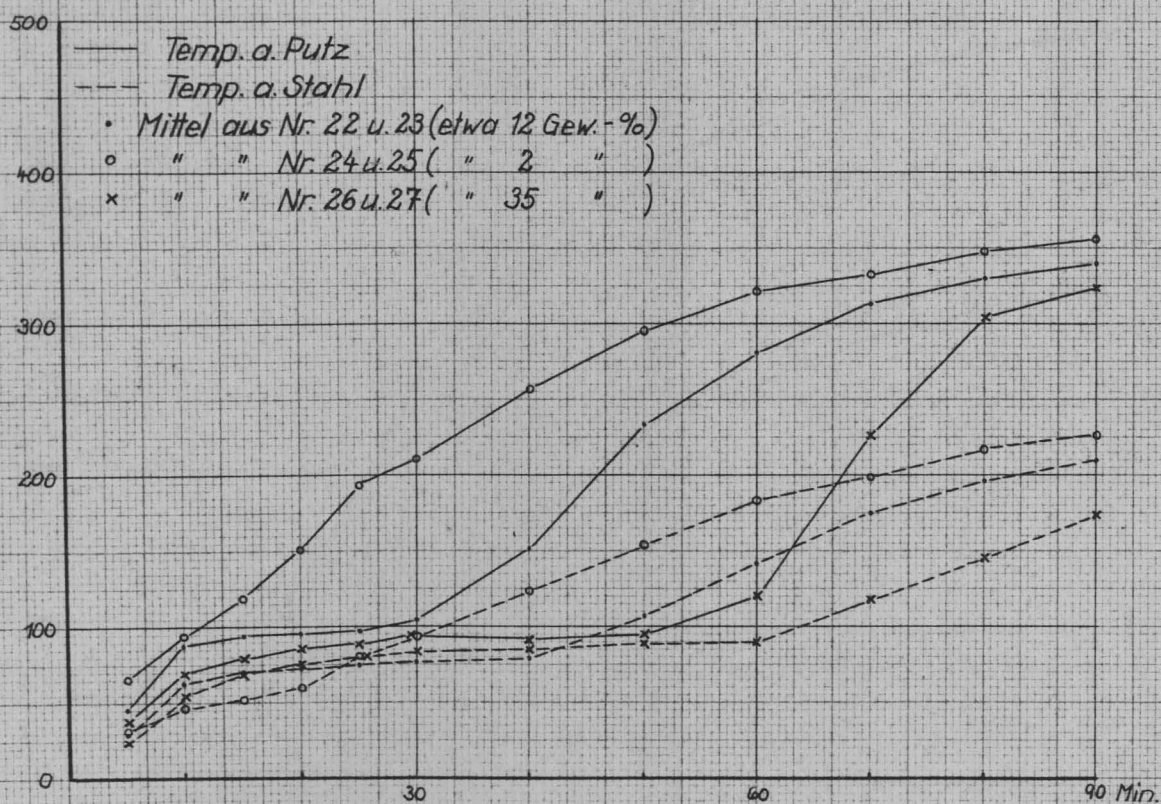


Abb.1 Perlite-Putze (Einfluß d. Mischungsverhältnisses)

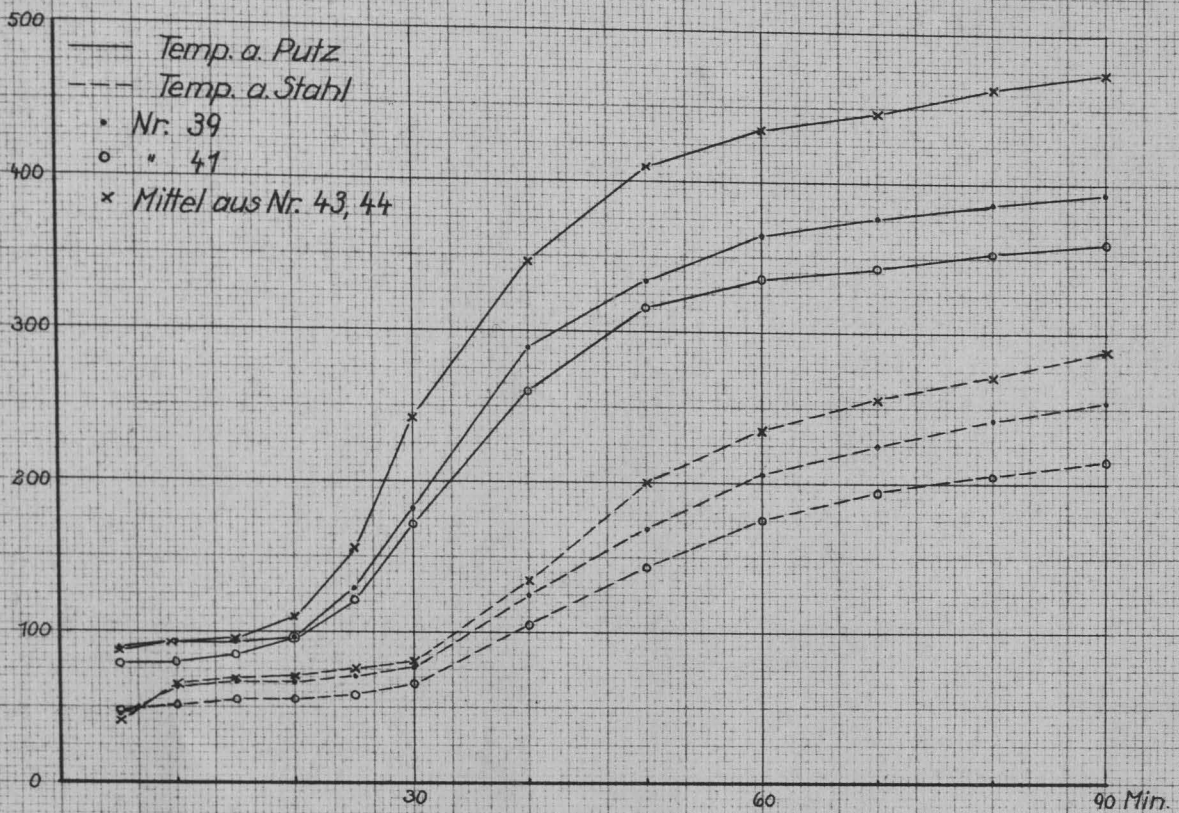


Abb.2 Schlackensand-Putze

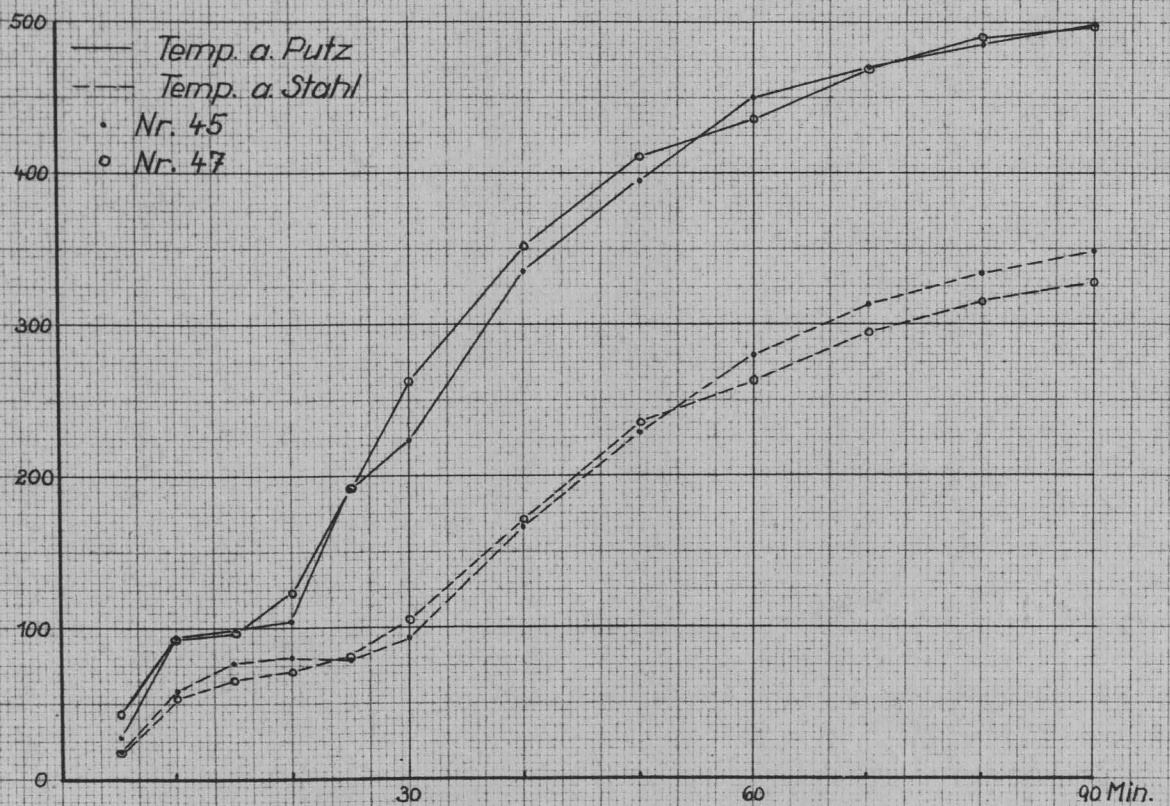


Abb. 1 Limpet- und Efawit-Putze

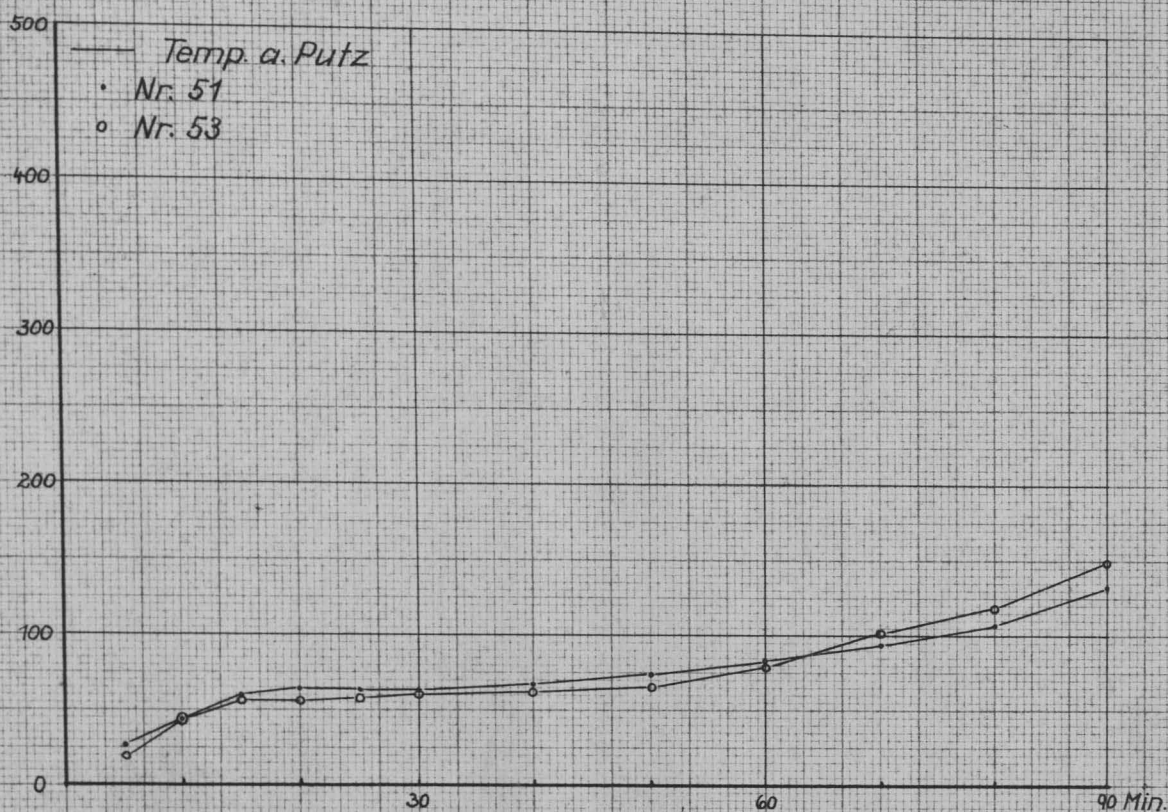
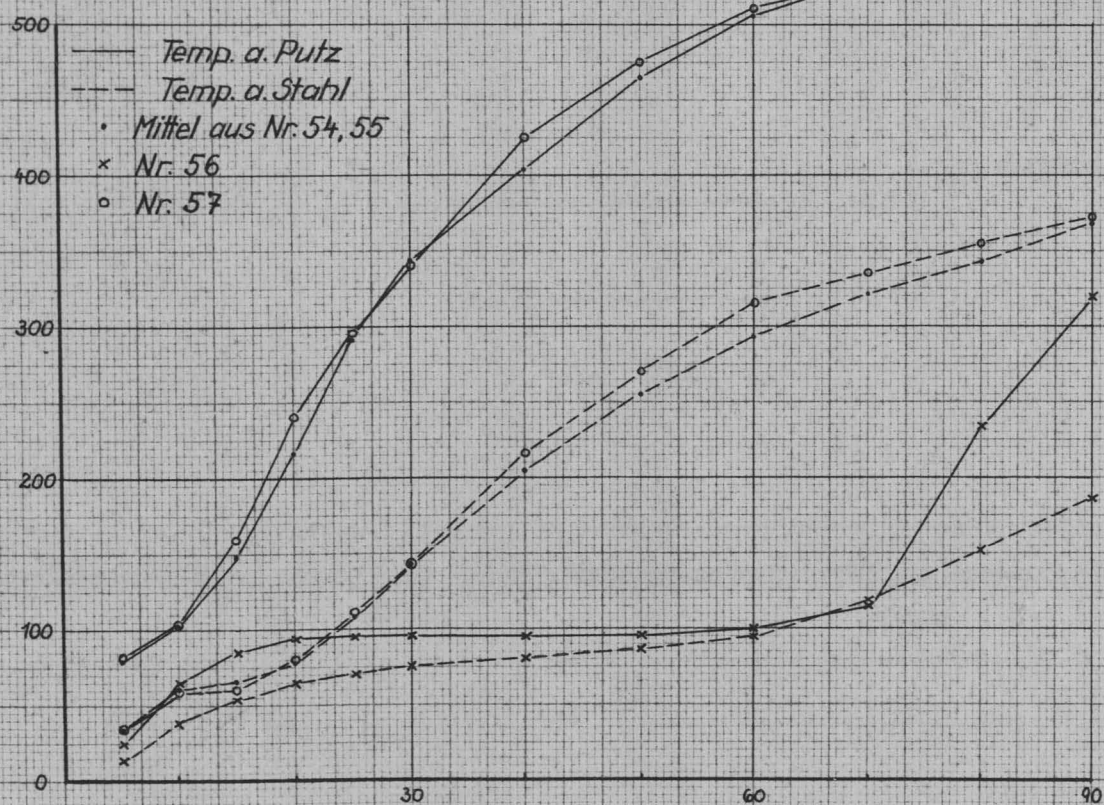
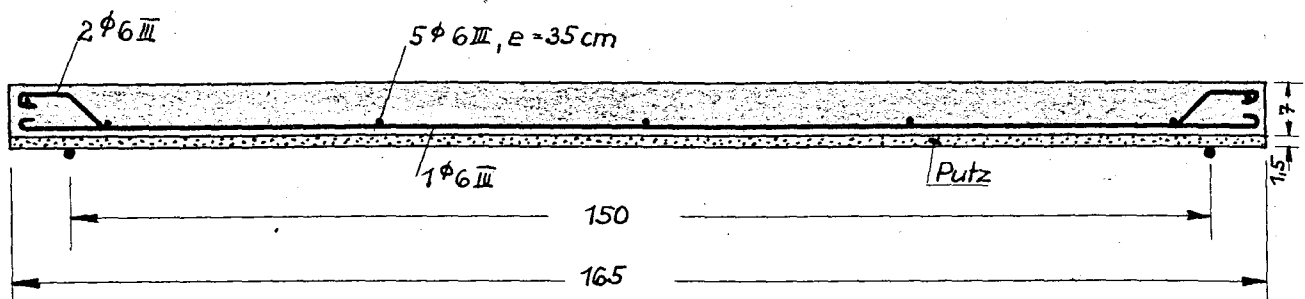
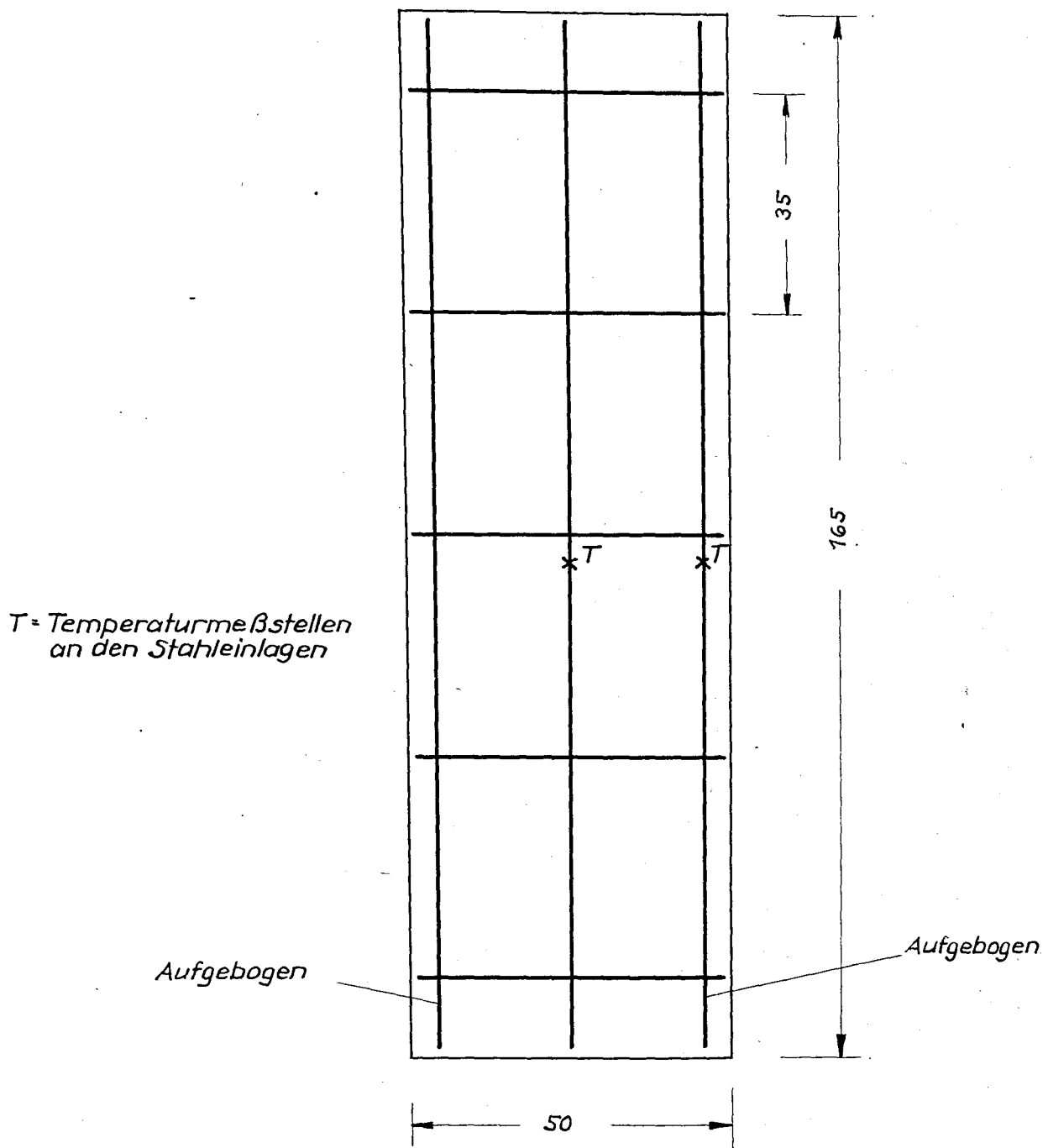
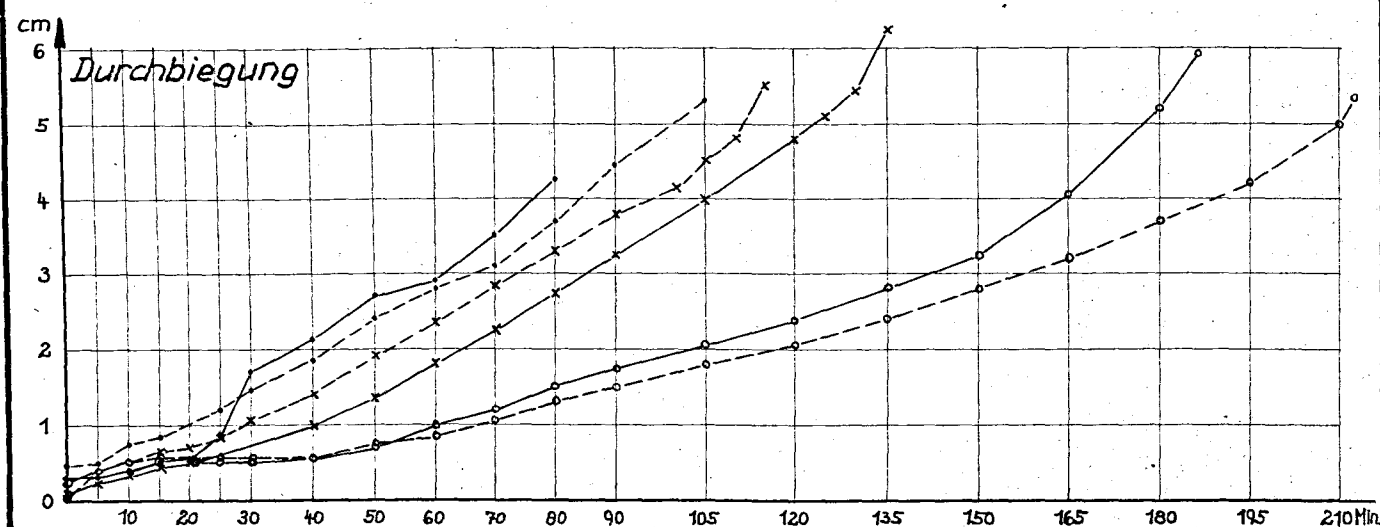
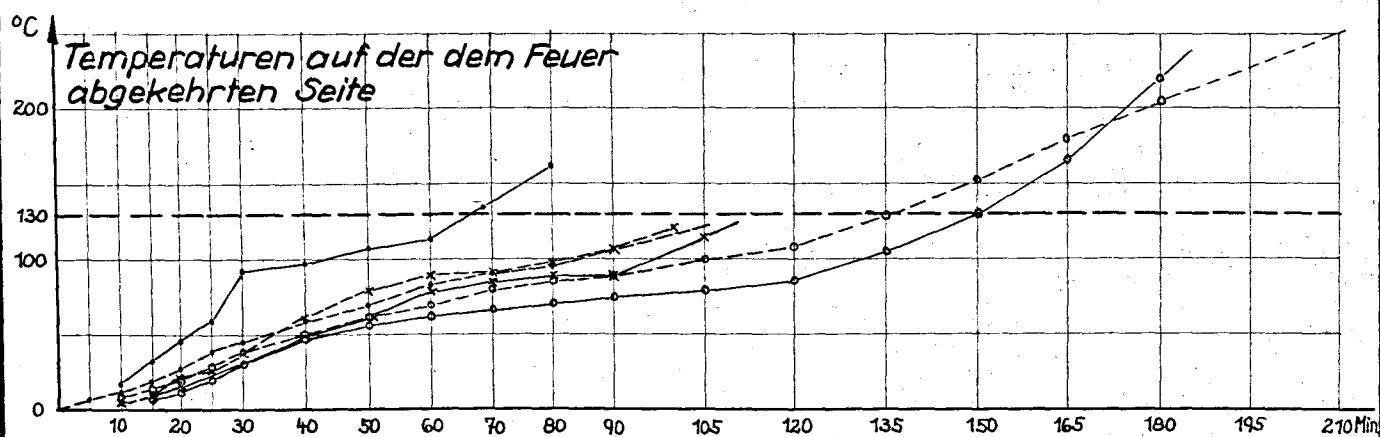
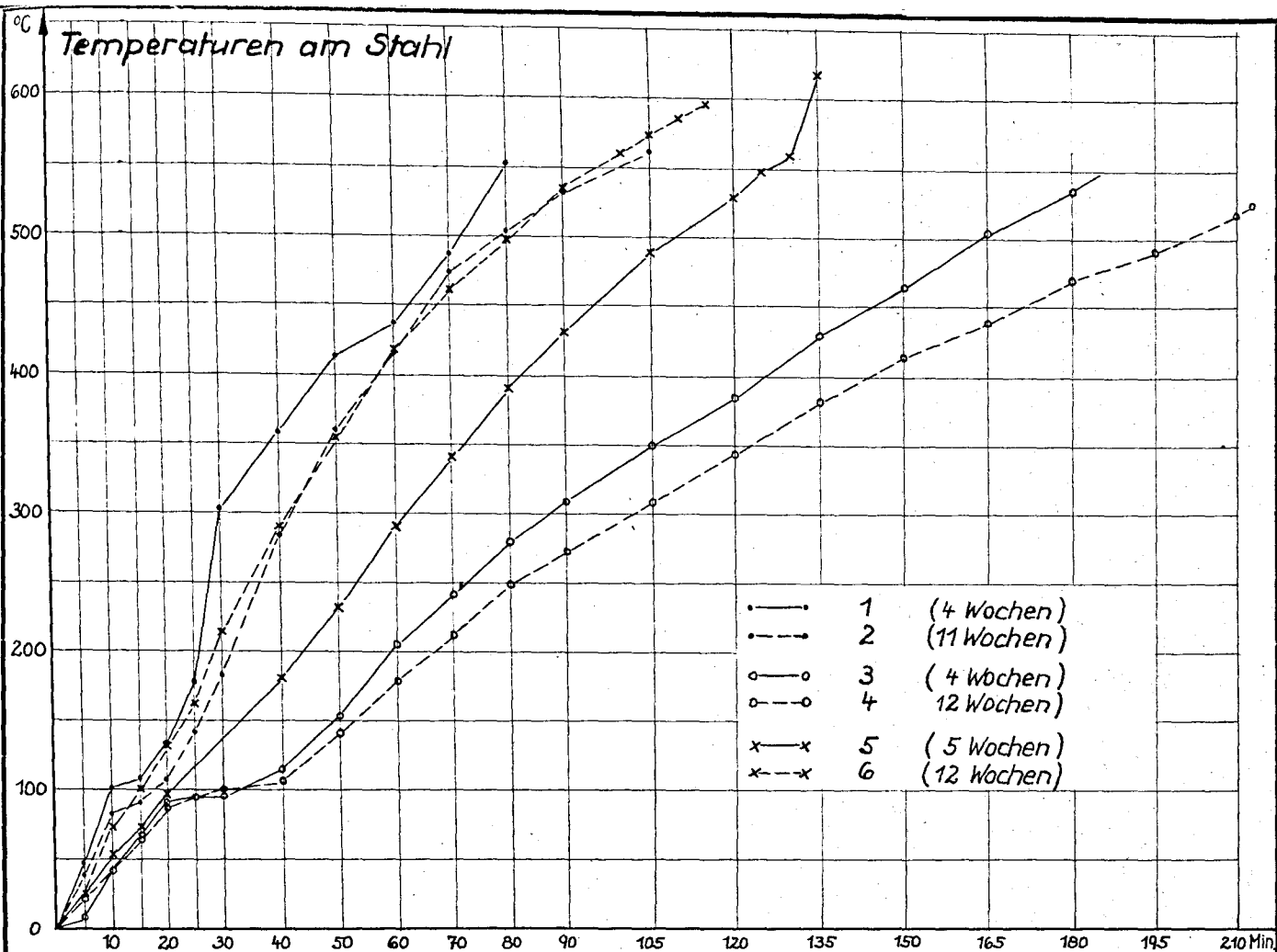
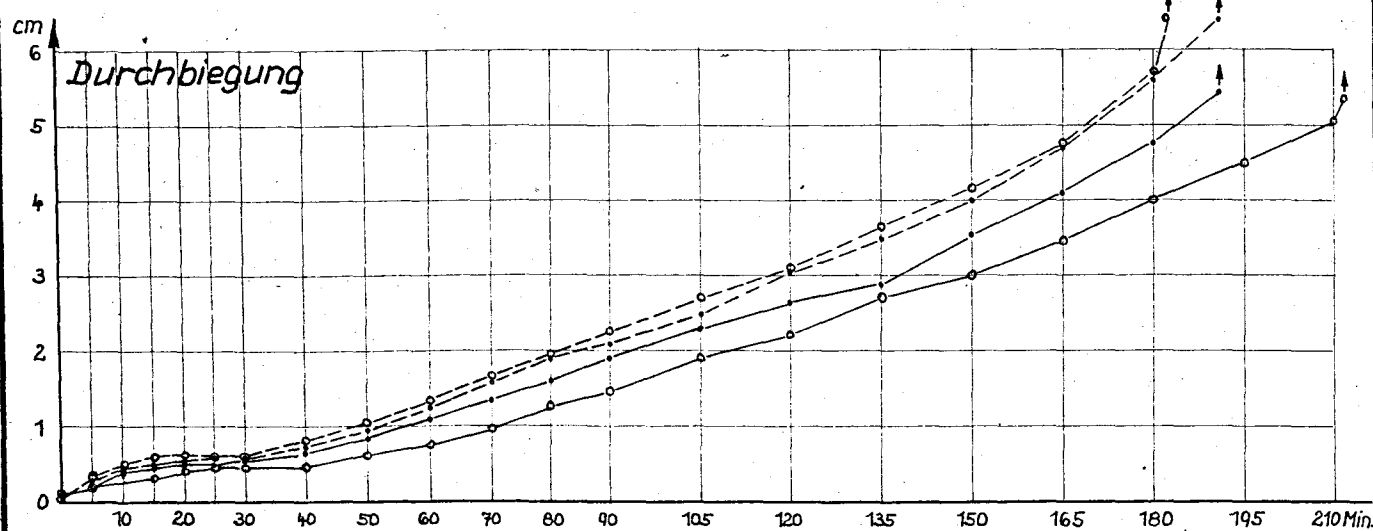
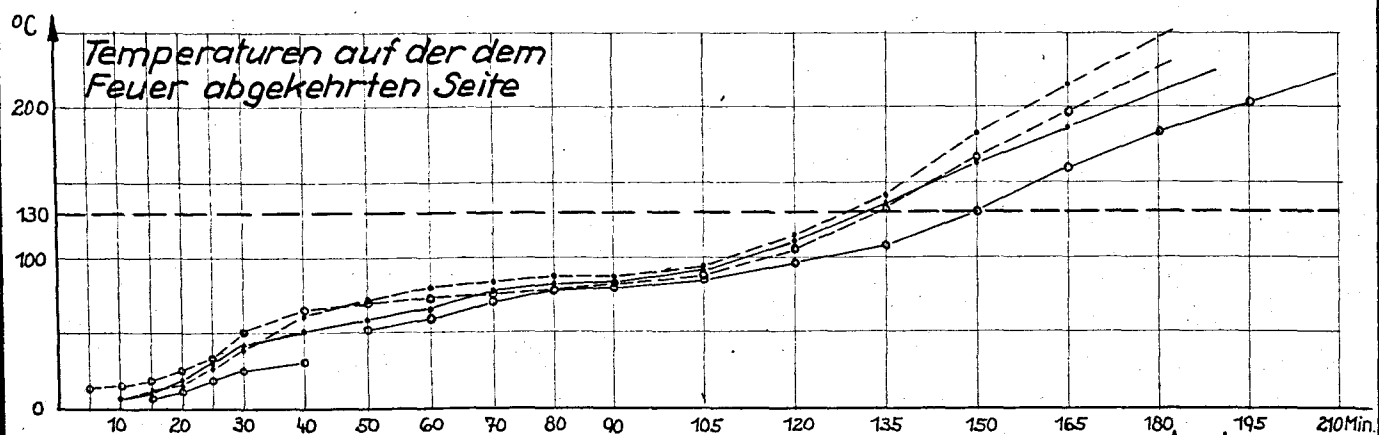
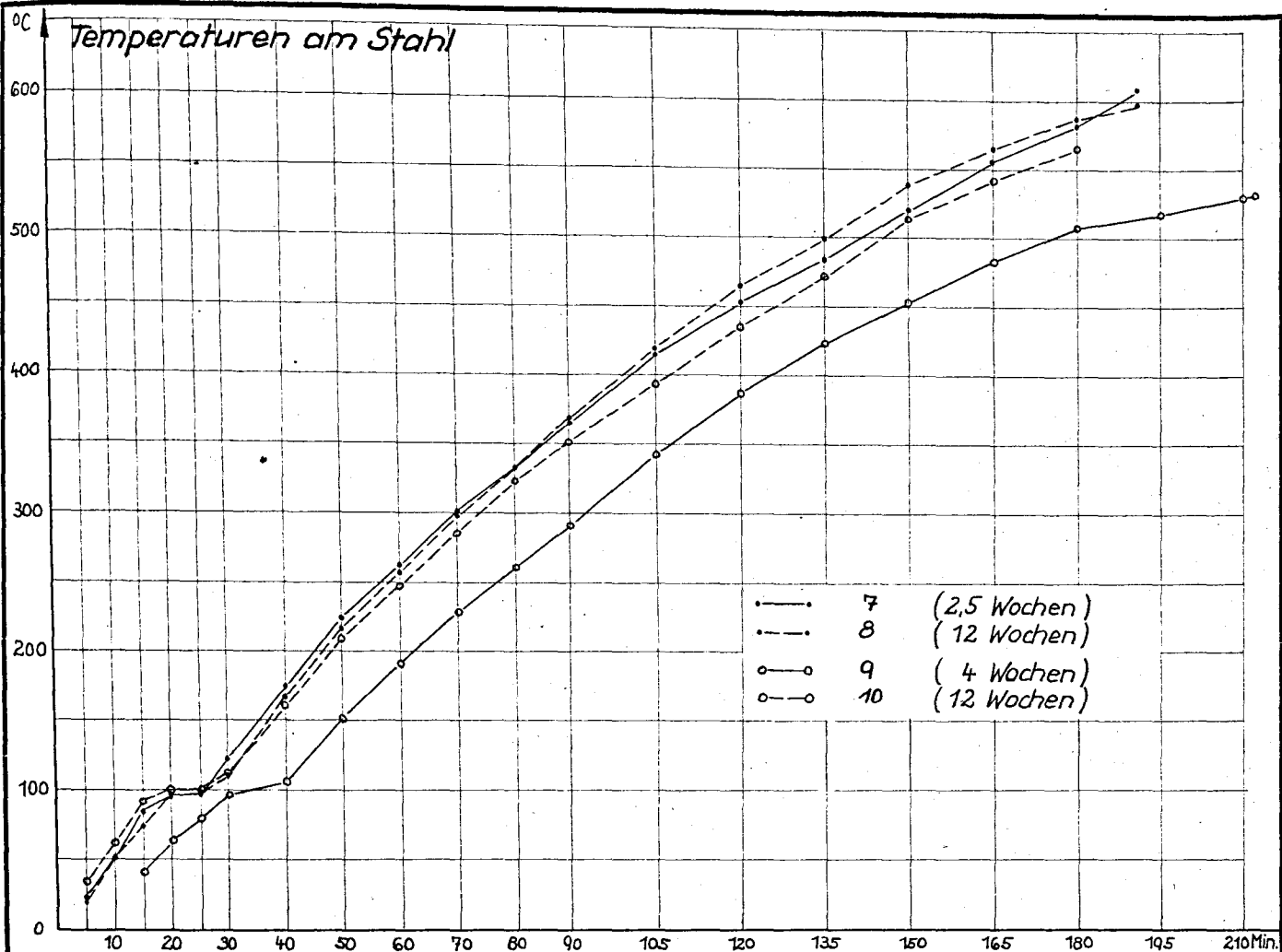


Abb. 2 Putze auf Rabitzdrahtgewebe

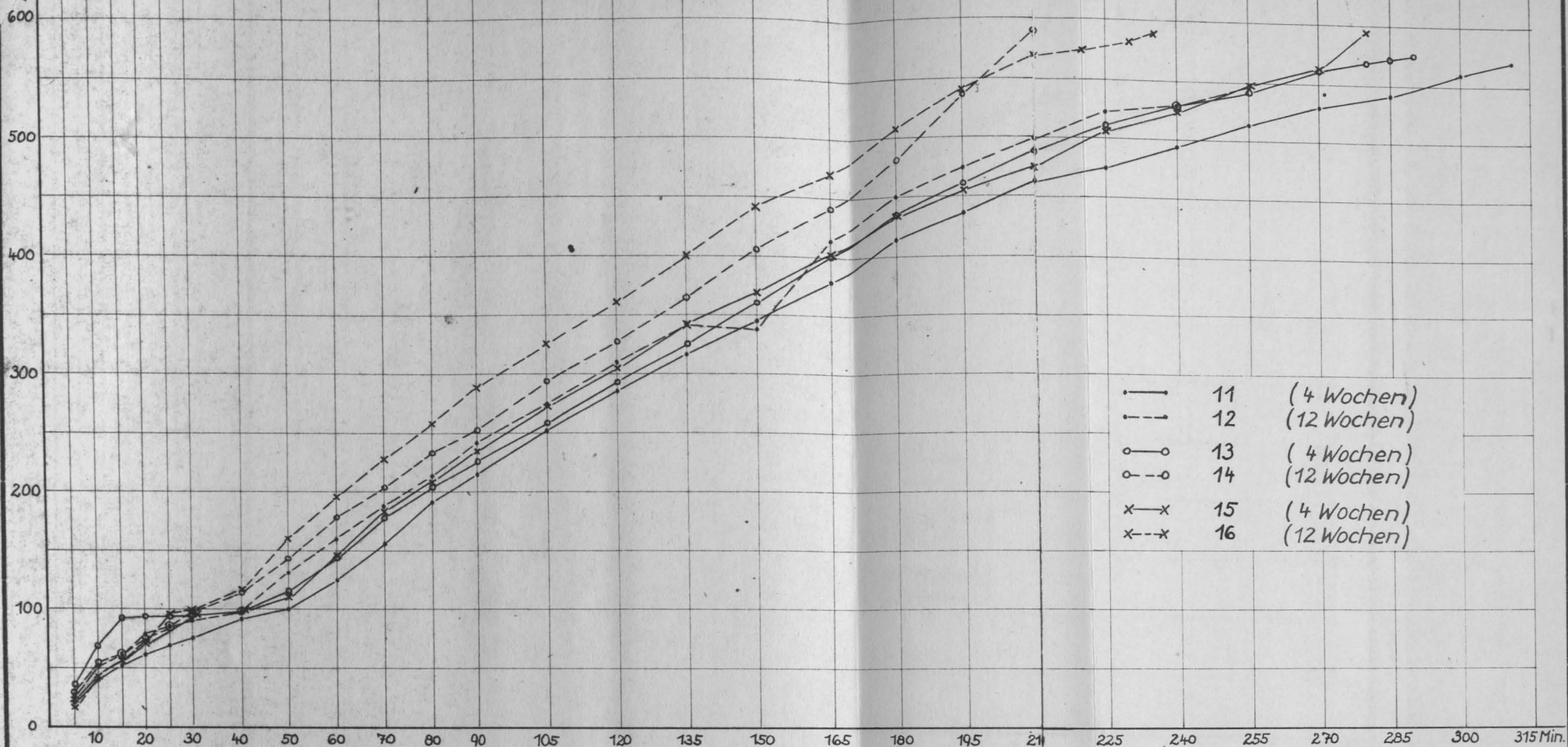




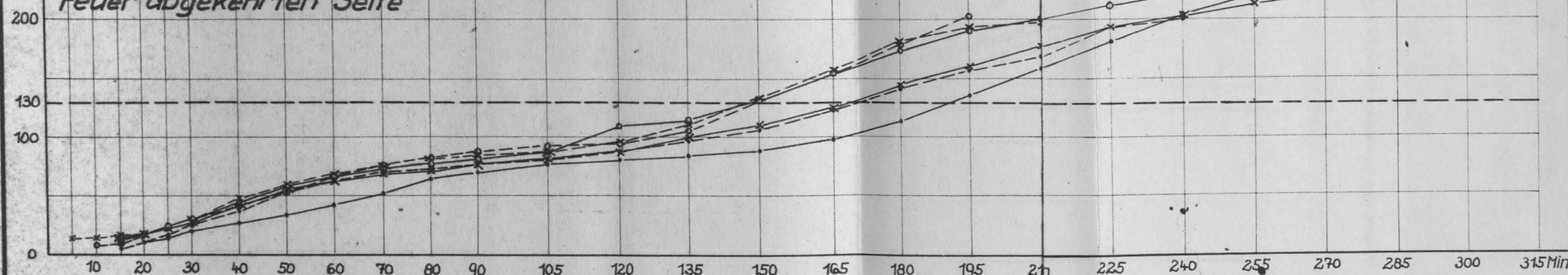




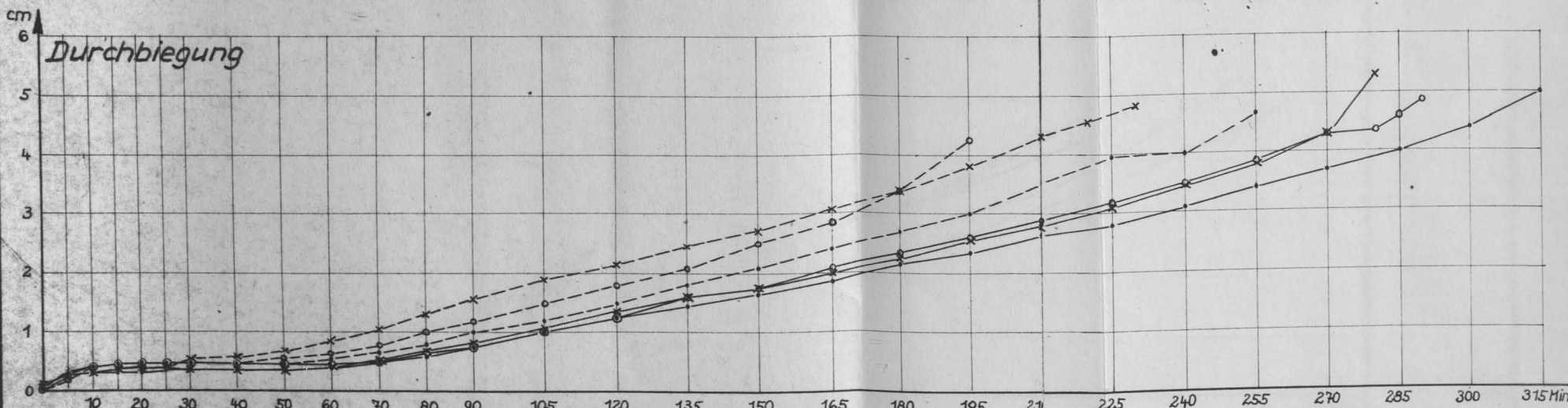
Temperaturen am Stahl

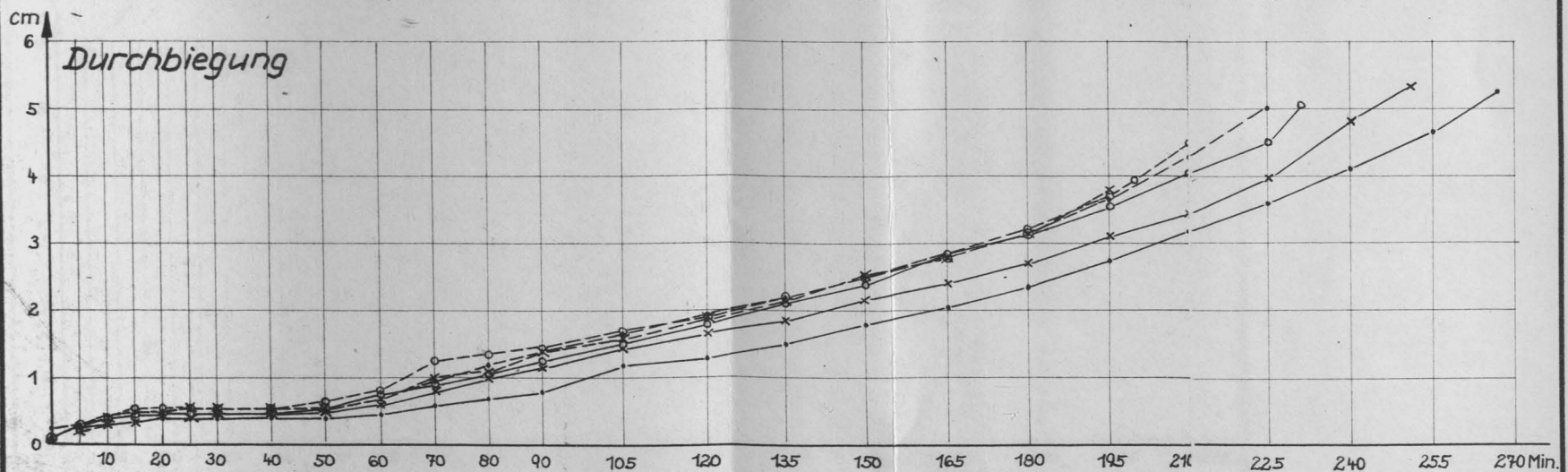
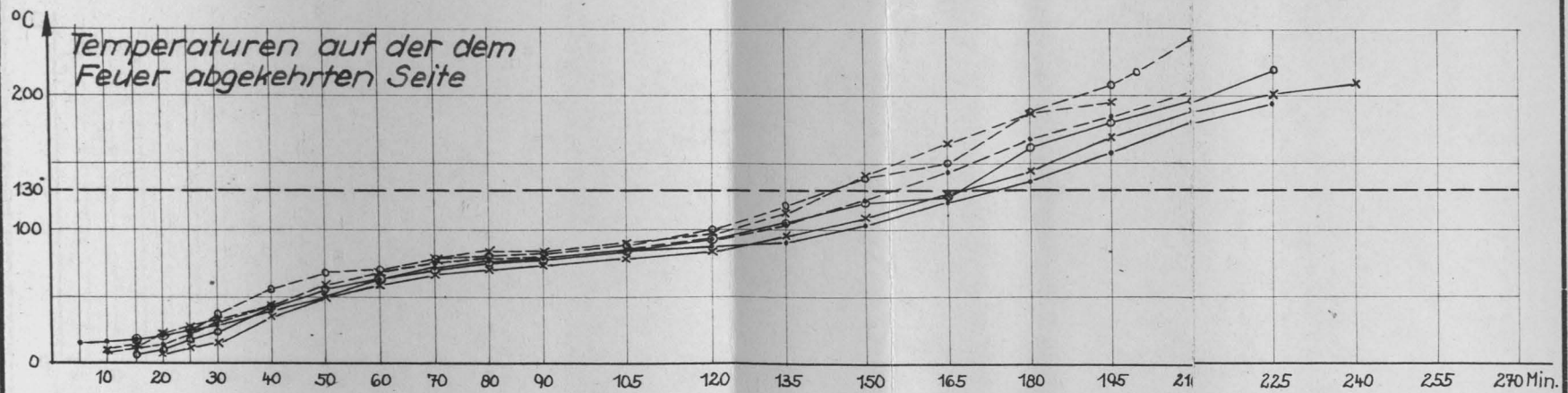
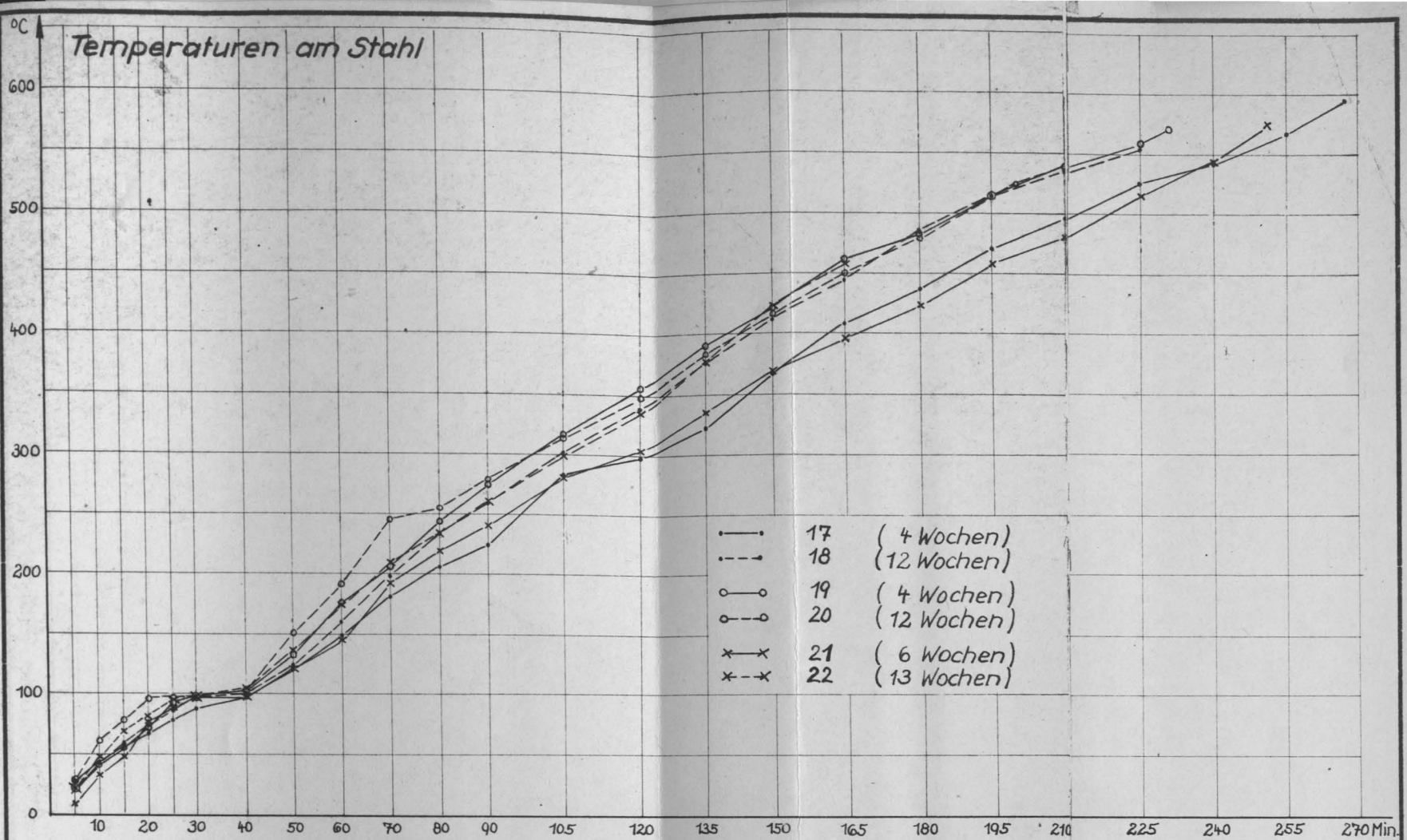


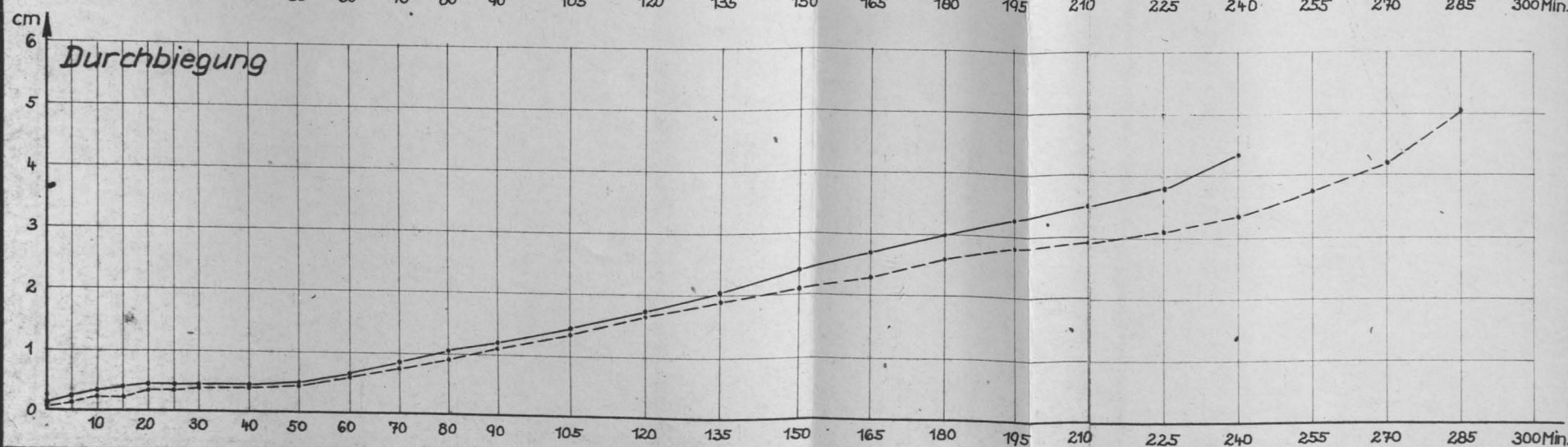
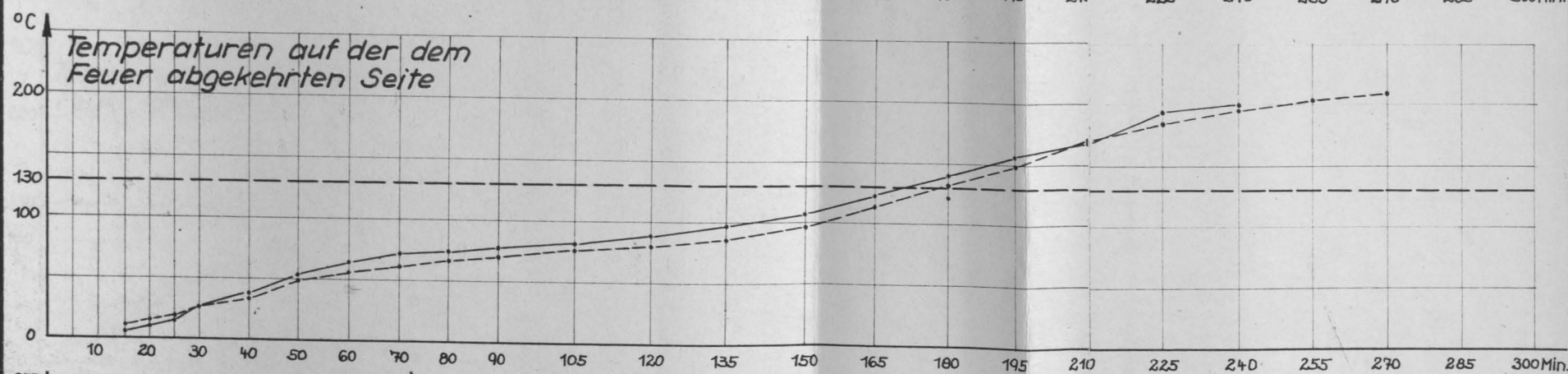
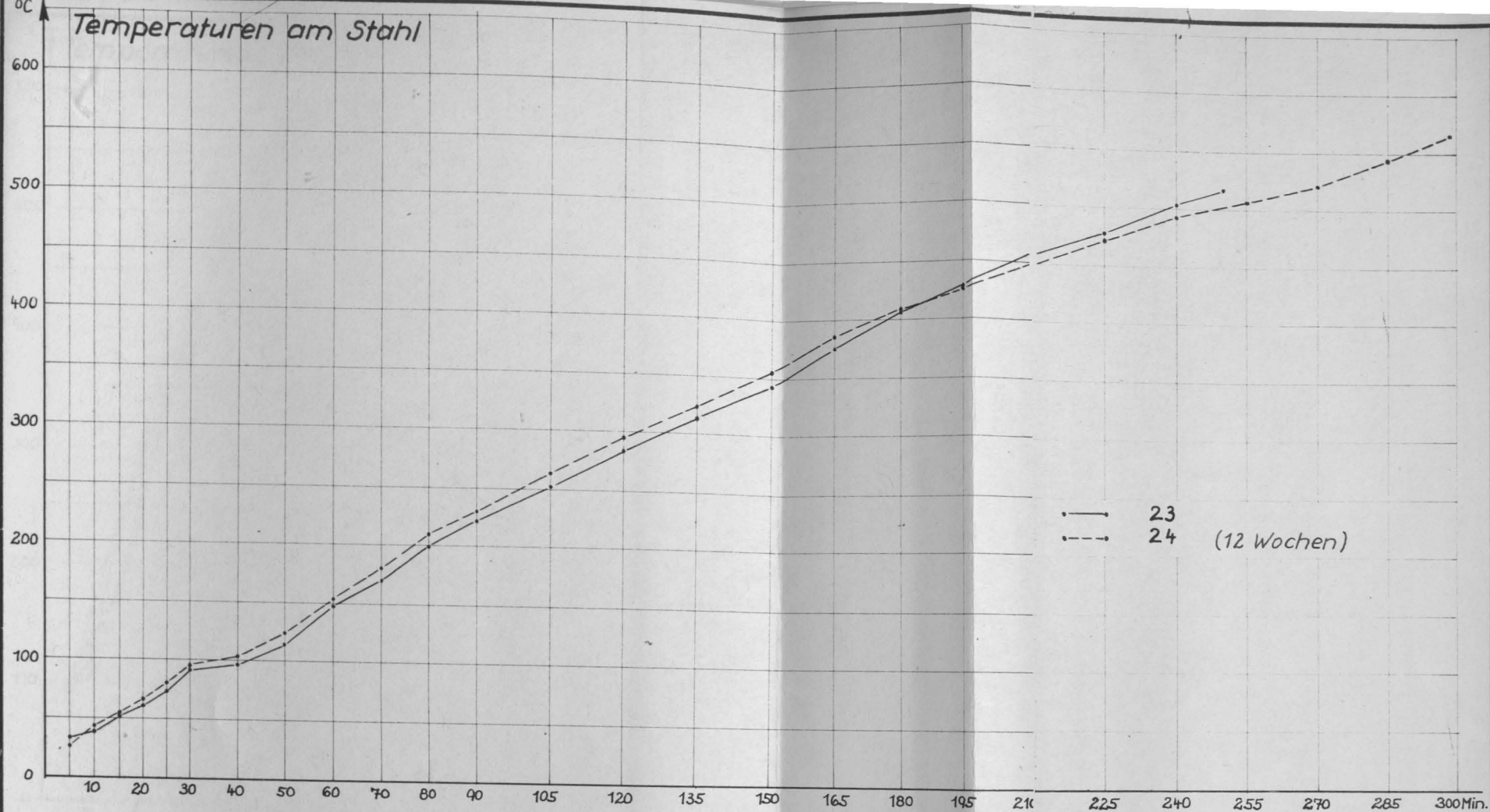
Temperaturen auf der dem Feuer abgekehrten Seite

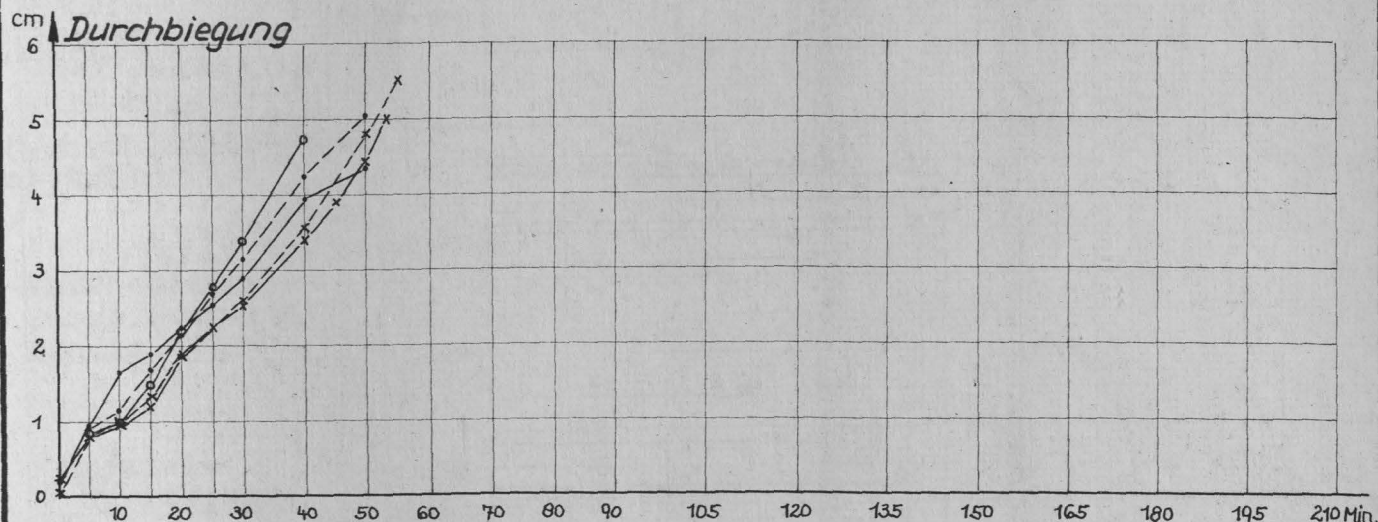
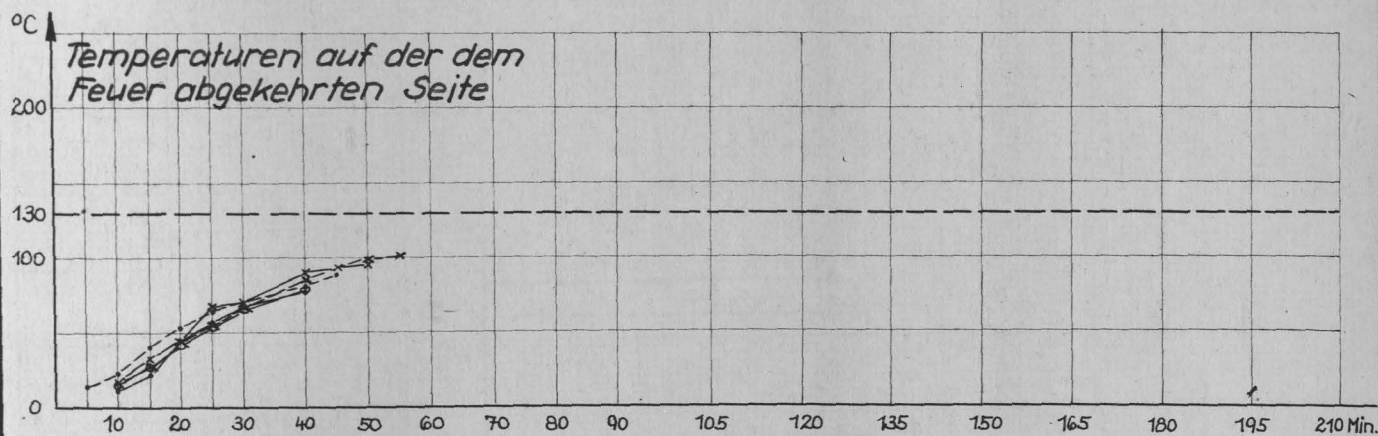
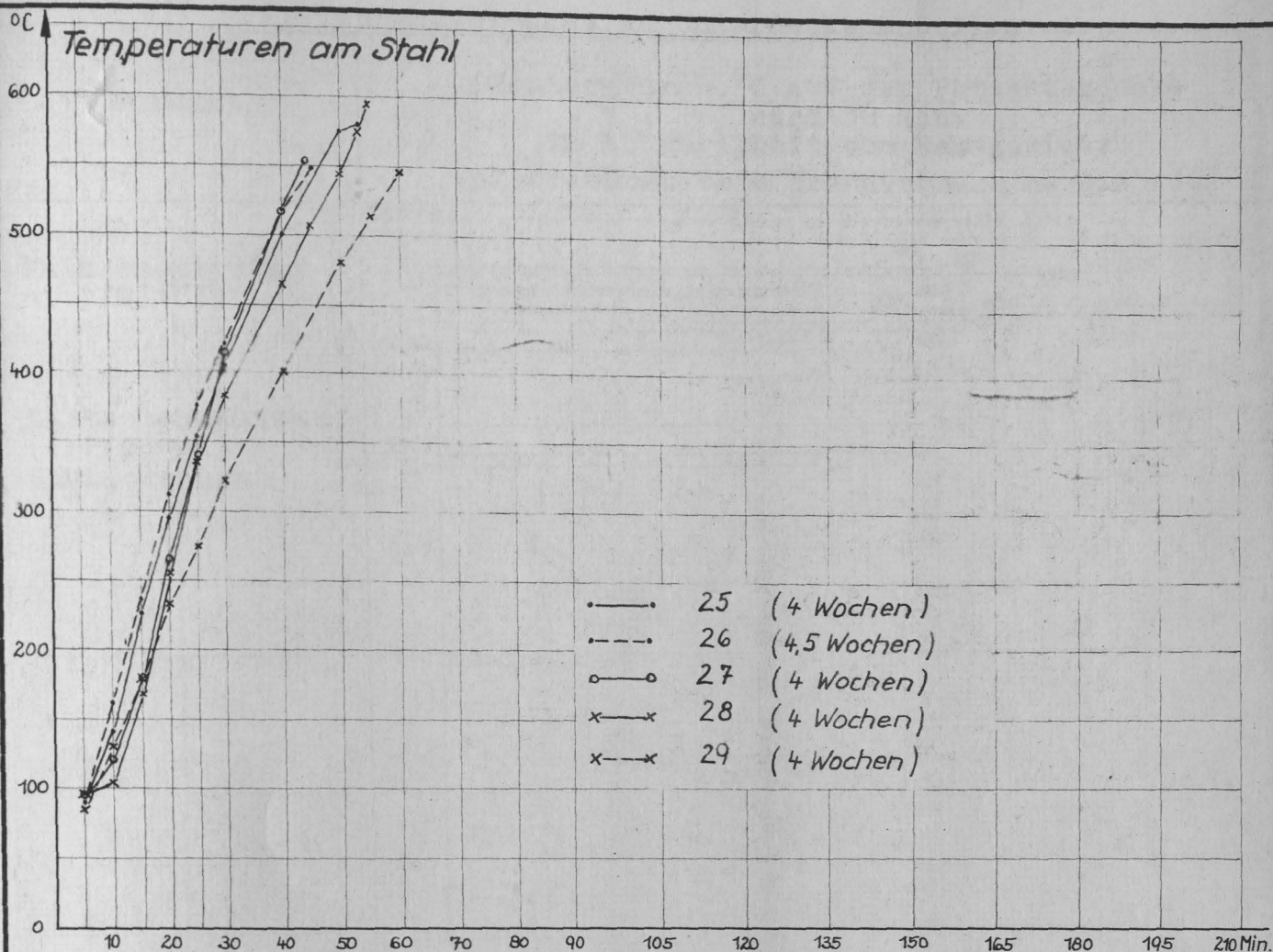


Durchbiegung





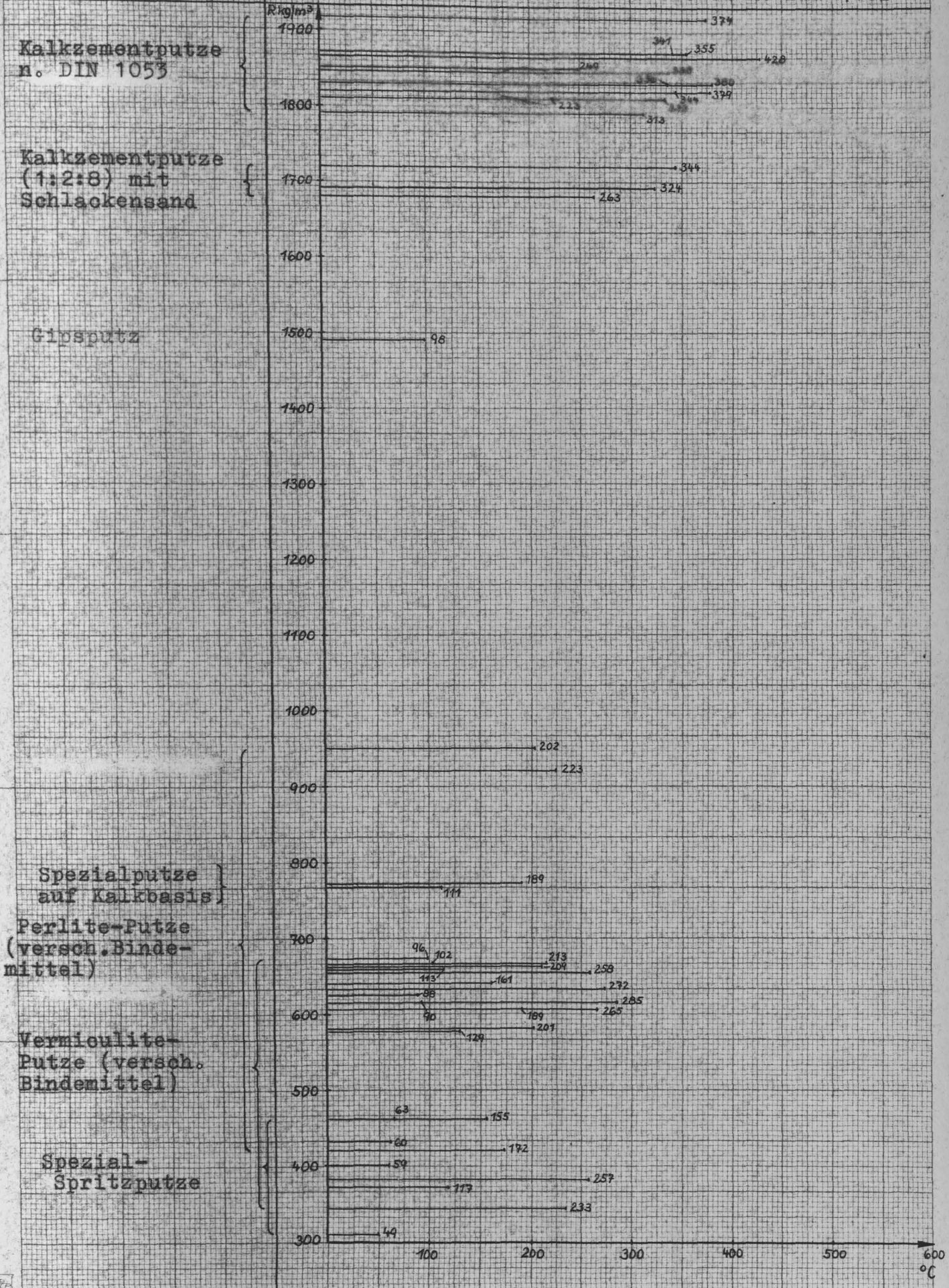




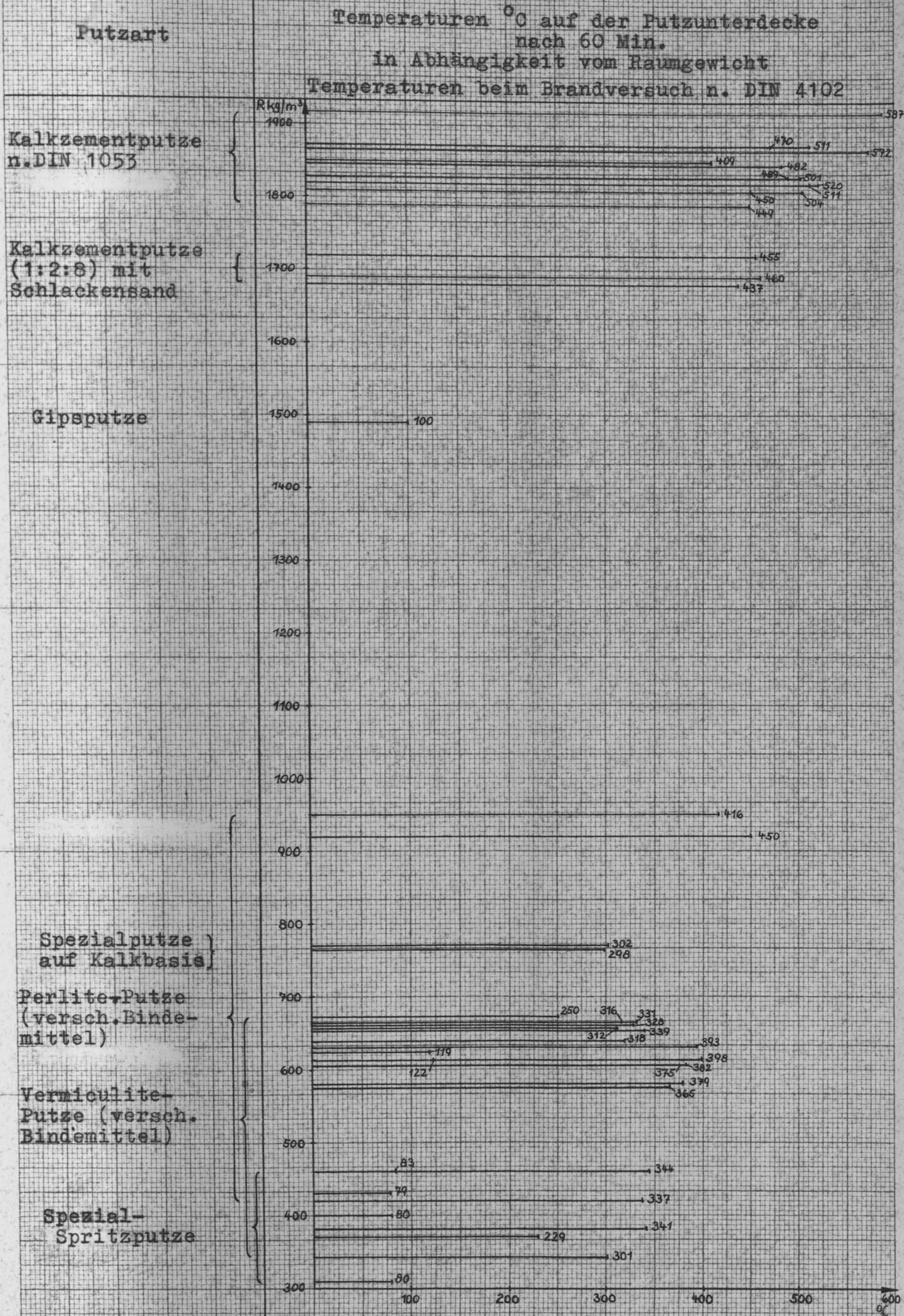
Kleinbrandversuche an Unterdeckenmodellen

Putzart

Temperaturen °C auf der Putzunterdecke
nach 30 Min.
in Abhängigkeit vom Raumgewicht
Temperaturen beim Brandversuch n. DIN 4102



Kleinbrandversuche an Unterdeckenmodellen



Kleinbrandversuche an Unterdeckenmodellen

Putzart

Temperaturen °C auf der Putzunterdecke
nach 90 Min.
in Abhängigkeit vom Raumgewicht
Temperaturen beim Brandversuch n. DIN 4102

Kalkzementputze
n.DIN 1053

Kalkzementputze
(1:2:8) mit
Schlackensand

Gipsputze

Spezialputze
auf Kalkbasis

Perlite-Putze
(versch. Binde-
mittel)

Vermiculite-
Putze (versch.)
Bindemittel)

Spezial-
Spritzputze

R kg/m³

1900

1800

1700

1600

1500

1400

1300

1200

1100

1000

900

800

700

600

500

400

300

100

200

300

400

500

600

°C

637

550

533

525

513

506

499

490

554

533

490

320

451

499

351

349

322

350

362

393

358

353

443

438

425

442

406

394

324

133

393

149

83

360

269

368

342

123

Kleinbrandversuche an Unterdeckenmodellen

Putzart

Temperaturen °C am "Stahlträger"
nach 30 Min.
in Abhängigkeit vom Raumgewicht

Temperaturen beim Brandversuch n. DIN 4102

Kalkzementputze
n. DIN 1053

Kalkzementputze
(1:2:8) mit
Schlackensand

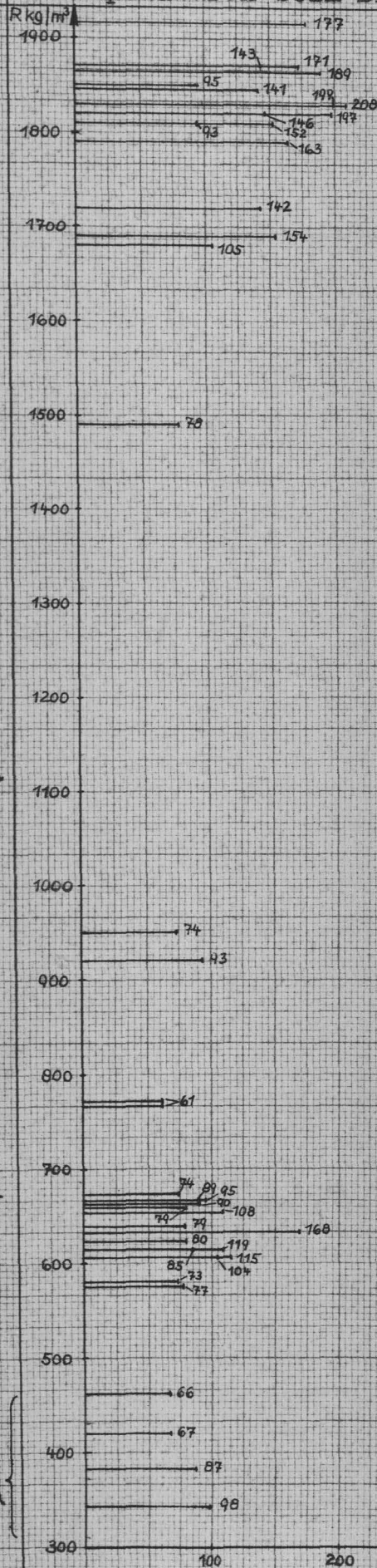
Gipsputze

Spezialputze
auf Kalkbasis

Perlite-Putze
(versch. Binde-
mittel)

Vermiculite
Putze (versch.
Bindemittel)

Spezial-
Spritzputze



Kleinbrandversuche an Unterdeckenmodellen

Putzart

Temperaturen °C am "Stahlträger"
nach 60 Min.
in Abhängigkeit vom Raumgewicht
Temperaturen beim Brandversuch n. DIN 4102

Kalkzementputze
n. DIN 1053

Kalkzementputze
(1:2:8) mit
Schlackensand

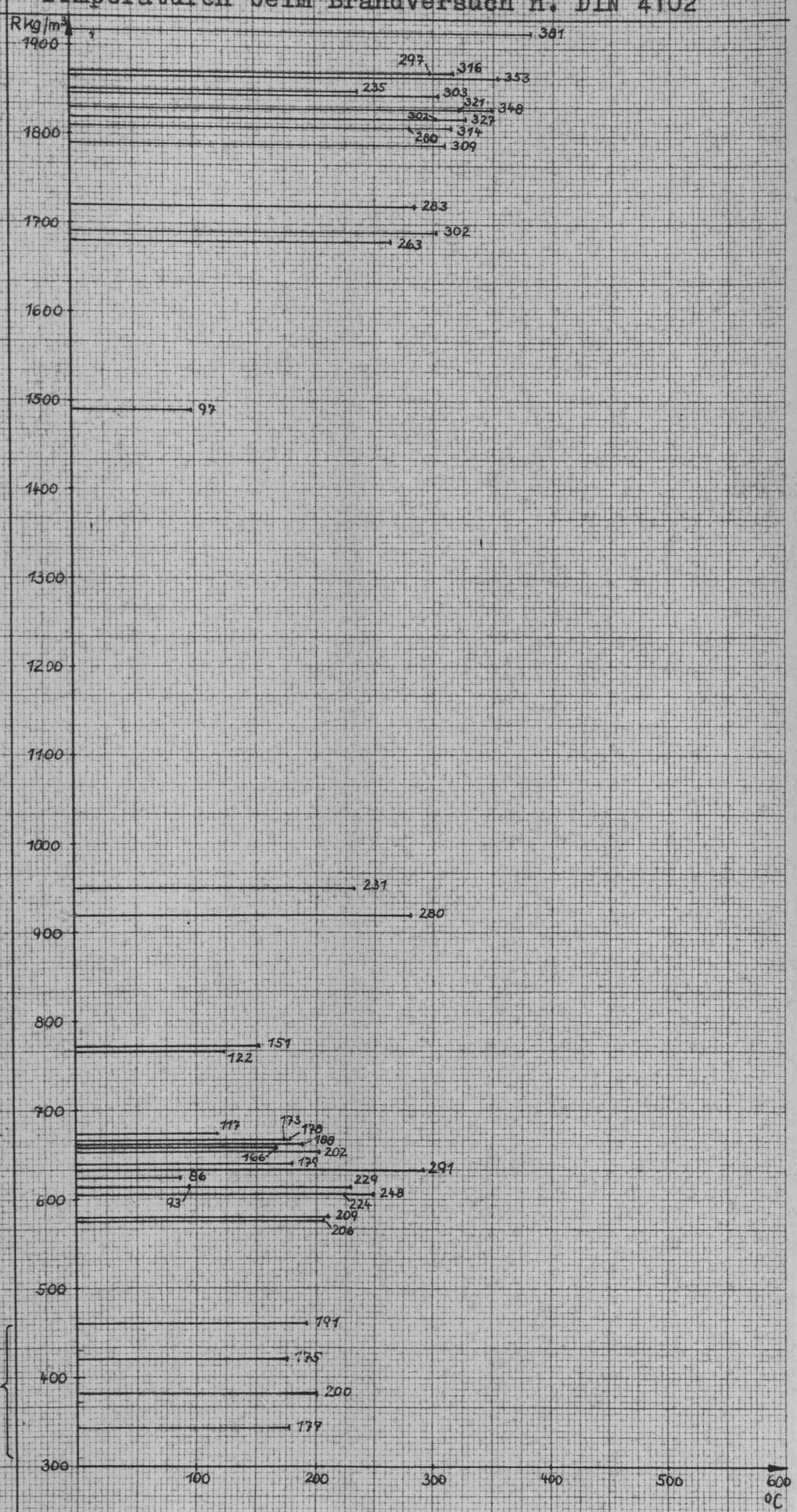
Gipsputze

Spezialputze
auf Kalkbasis

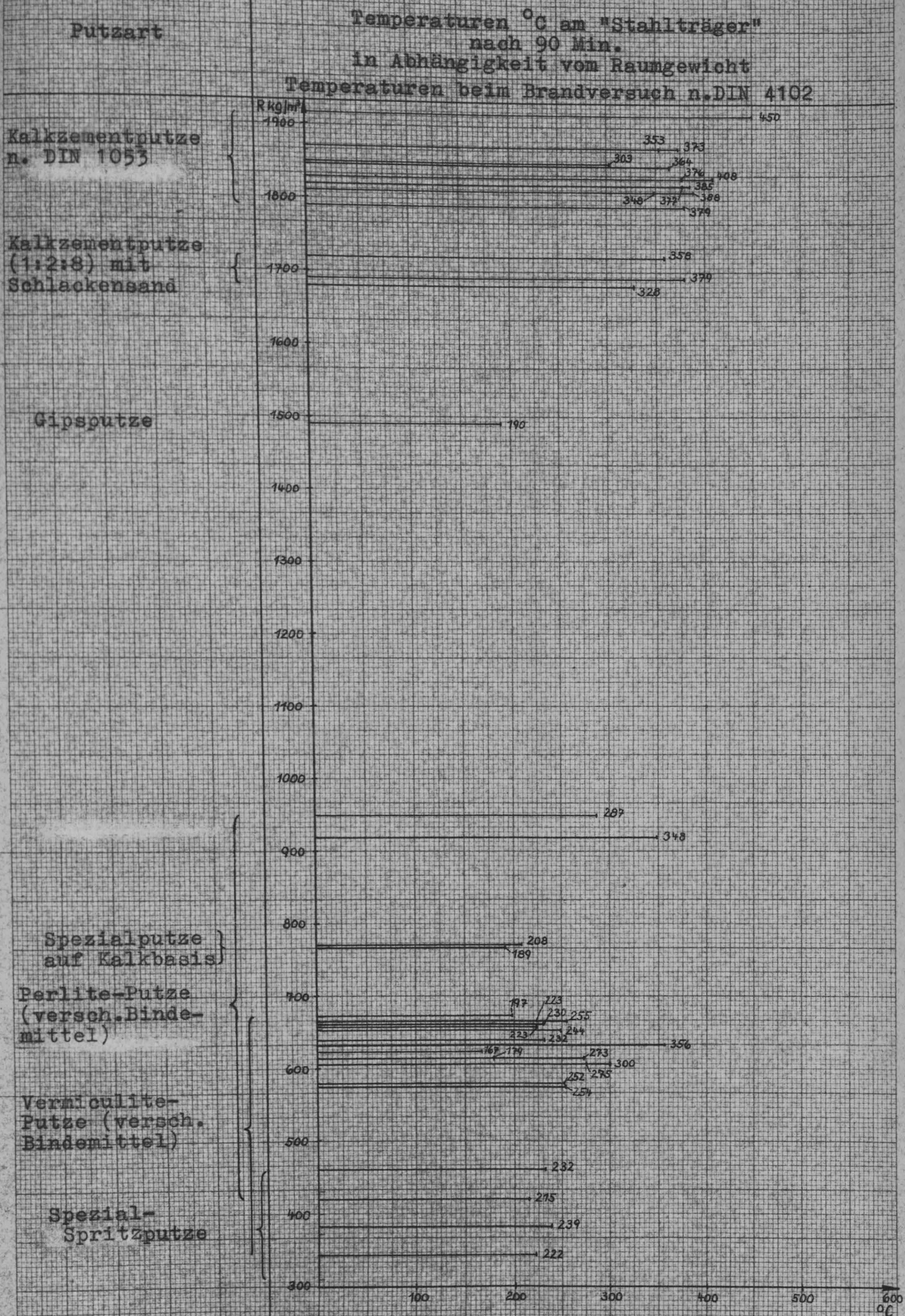
Perlite-Putze
(versch. Binde-
mittel)

Vermiculite-
Putze (versch.
Bindemittel)

Spezial-
Spritzputze



Kleinbrandversuche an Unterdeckenmodellen



Kleinbrandversuche an Unterdeckenmodellen

Putzart

Temperaturen °C auf der Putzunterdecke
nach 30, 60 und 90 Min.
in Abhängigkeit vom Raumgewicht
Temperaturen nach Heizkurve Elektro-01

R kg/m³

Kalkzementputze
n. DIN 1053

Gipssandputze

30 Min.

Kalkzementputze
n. DIN 1053

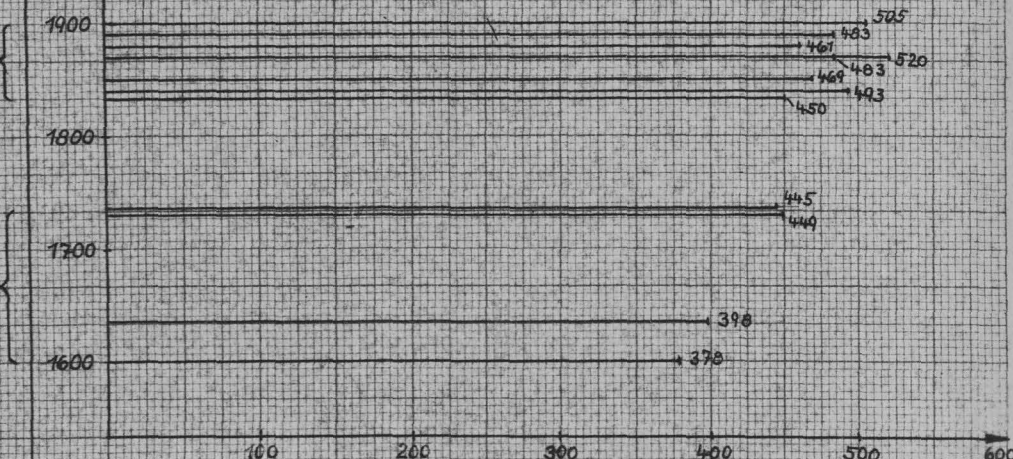
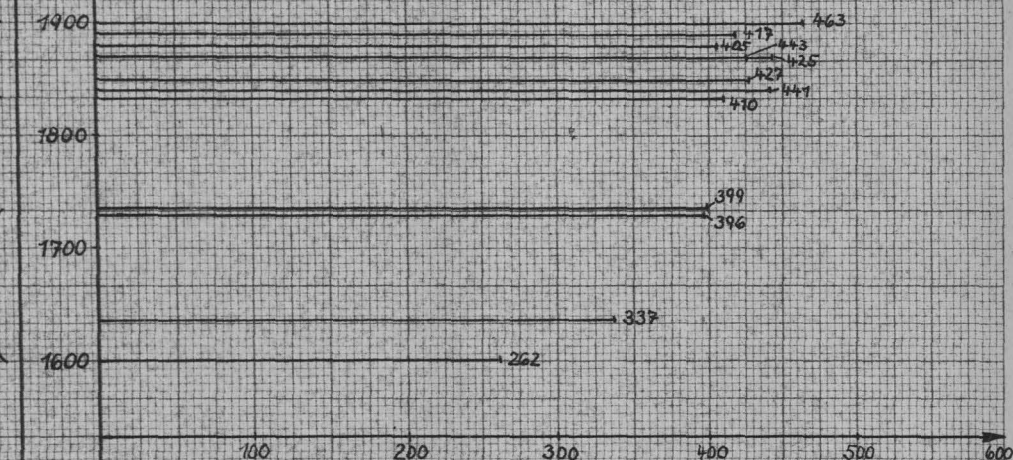
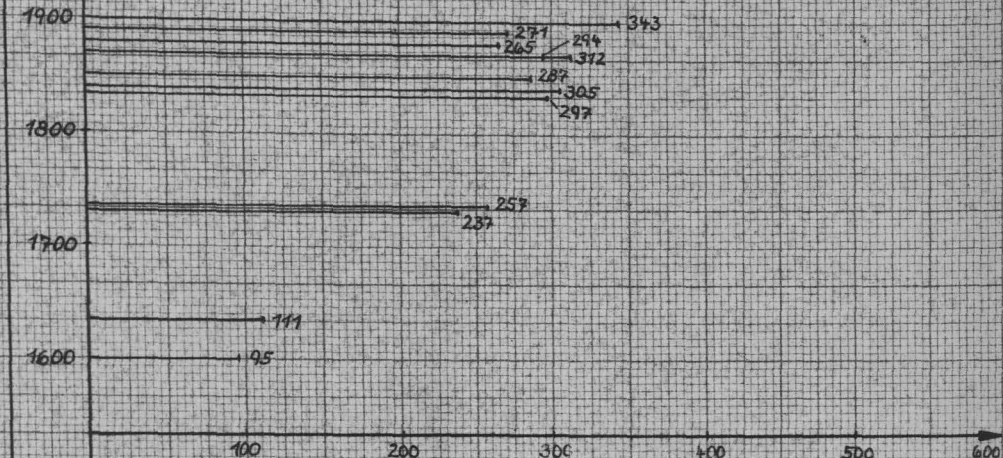
Gipssandputze

60 Min.

Kalkzementputze
n. DIN 1053

Gipssandputze

90 Min.

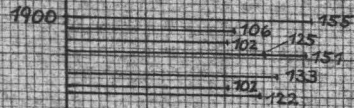


Kleinbrandversuche an Unterdeckenmodellen

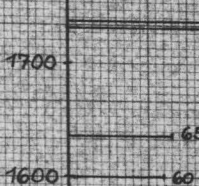
Putzart

Temperaturen °C am "Stahlträger"
nach 30, 60 und 90 Min.
in Abhängigkeit vom Raumgewicht
Temperaturen nach Heizkurve Elektro-Öl

Kalkzementputze
n. DIN 1053



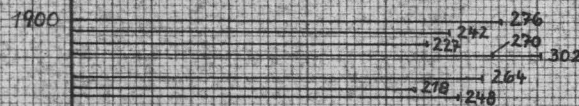
Gipssandputze



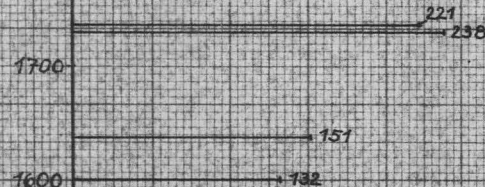
30 Min.

100 200 300 400 500 600

Kalkzementputze
n. DIN 1053



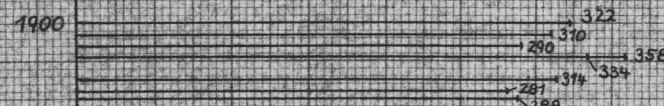
Gipssandputze



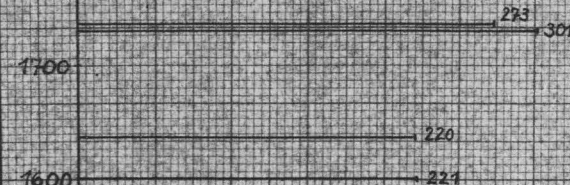
60 Min.

100 200 300 400 500 600

Kalkzementputze
n. DIN 1053



Gipssandputze

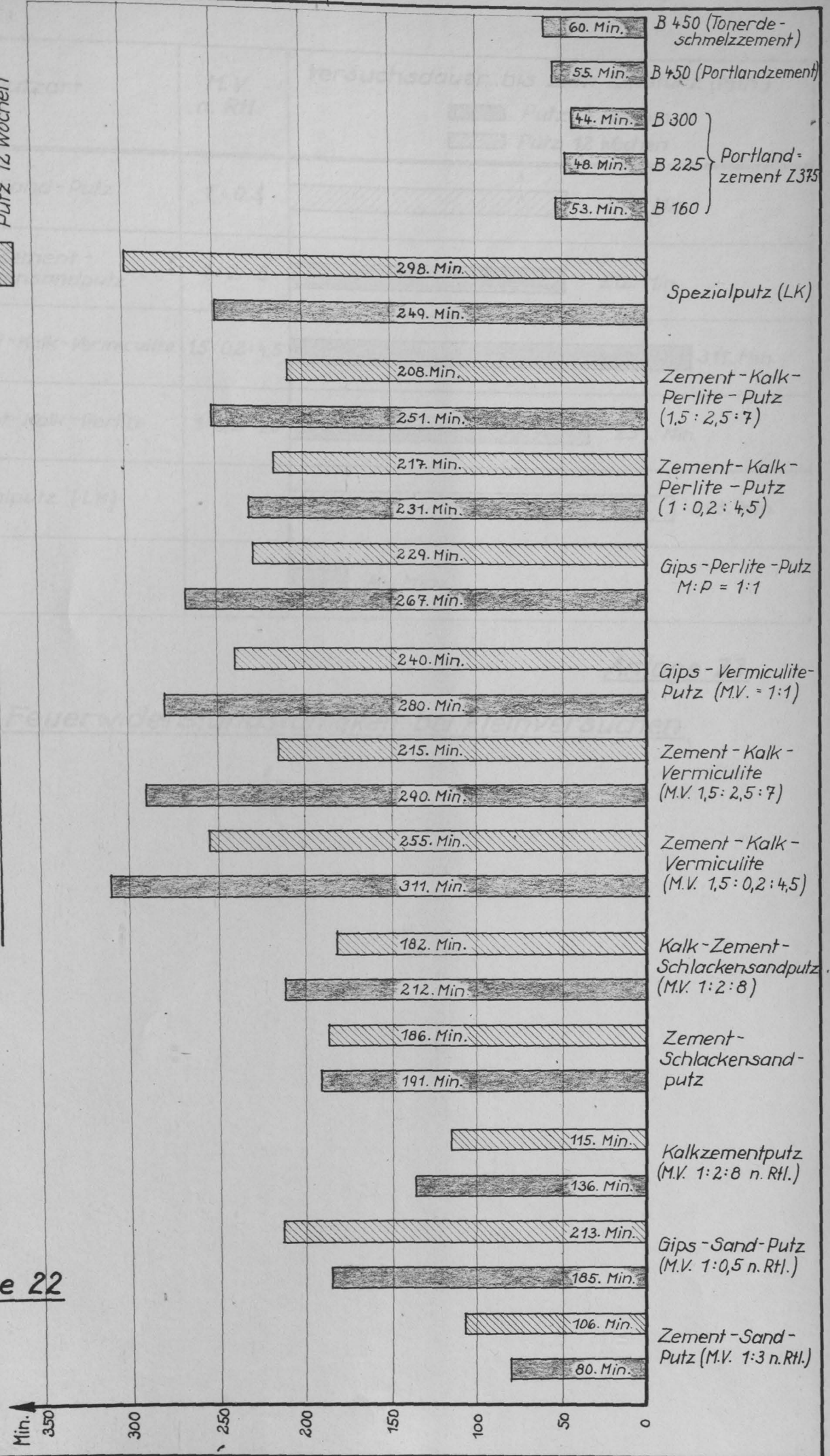


90 Min.









100 200 300 400 500 600

Feuerwiderstandsfähigkeit der Stahlbetonplatte bei Kleinversuchen

Putz 4 Wochen
Putz 12 Wochen



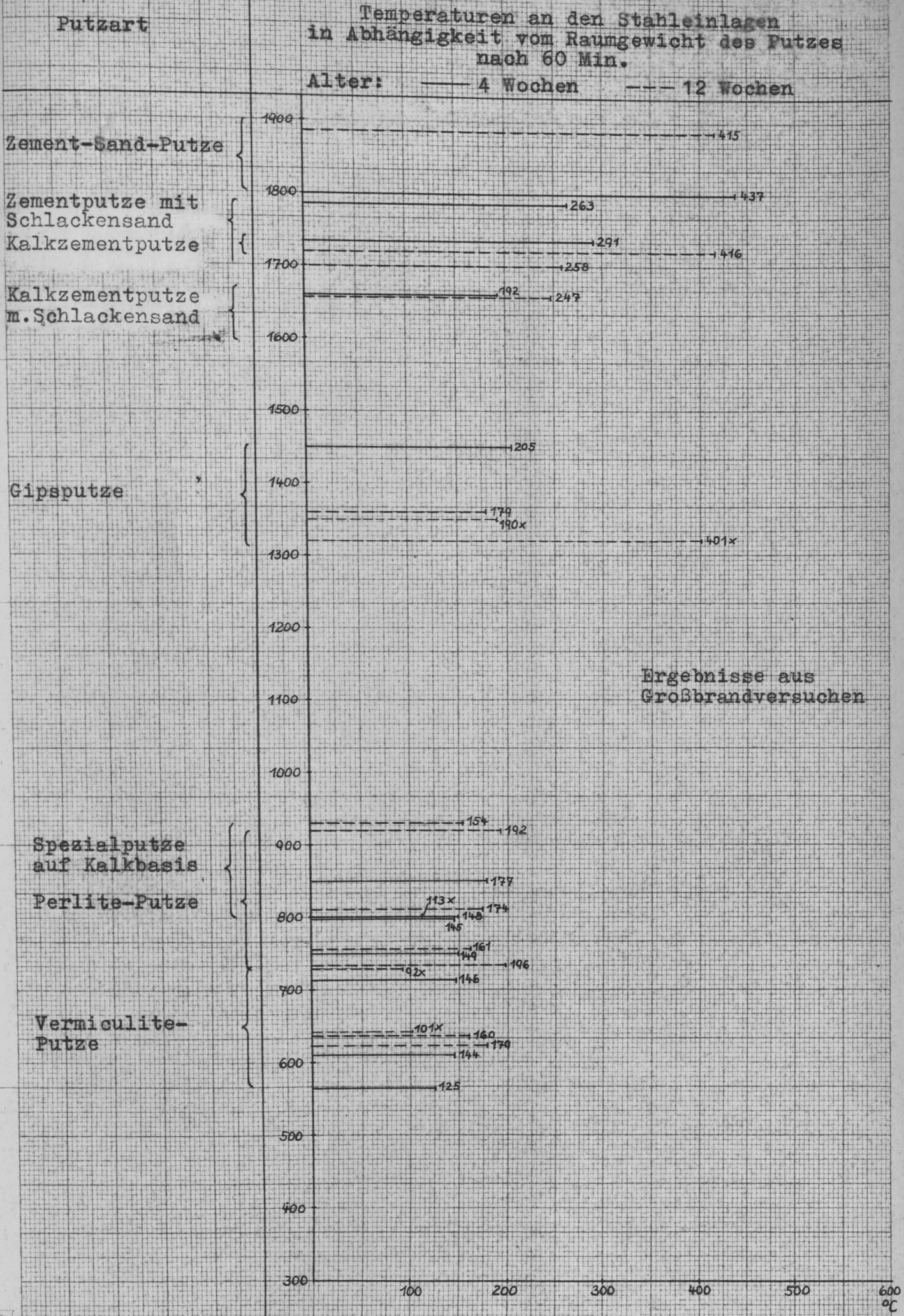
Anlage 22

Putzart	M.V. n. Rtl.	Versuchsdauer bis zum Einsturz (Min.)	
		 Putz 4 Wochen	 Putz 12 Wochen
Gips - Sand - Putz	1 : 0,5		213. Min.
Kalk - Zement - Schlackensandputz	1 : 2 : 8		212. Min.
Zement - Kalk - Vermiculite	1,5 : 0,2 : 4,5		311. Min.
Zement - Kalk - Perlite	1 : 0,2 : 4,5		231. Min.
Spezialputz (LK)			298. Min.
B 300			44. Min.

Anlage 23

Feuerwiderstandsfähigkeit bei Kleinversuchen

Kleinbrandversuche an Stahlbetonplatten



Kleinbrandversuche an Stahlbetonplatten

Temperaturen an den Stahleinlagen
in Abhängigkeit vom Raumgewicht des Putzes
nach 90 Min.

Alter: — 4 Wochen --- 12 Wochen

Putzart

Zement-Sand-Putze

Zementputze mit
Schlackensand

Kalkzementputze

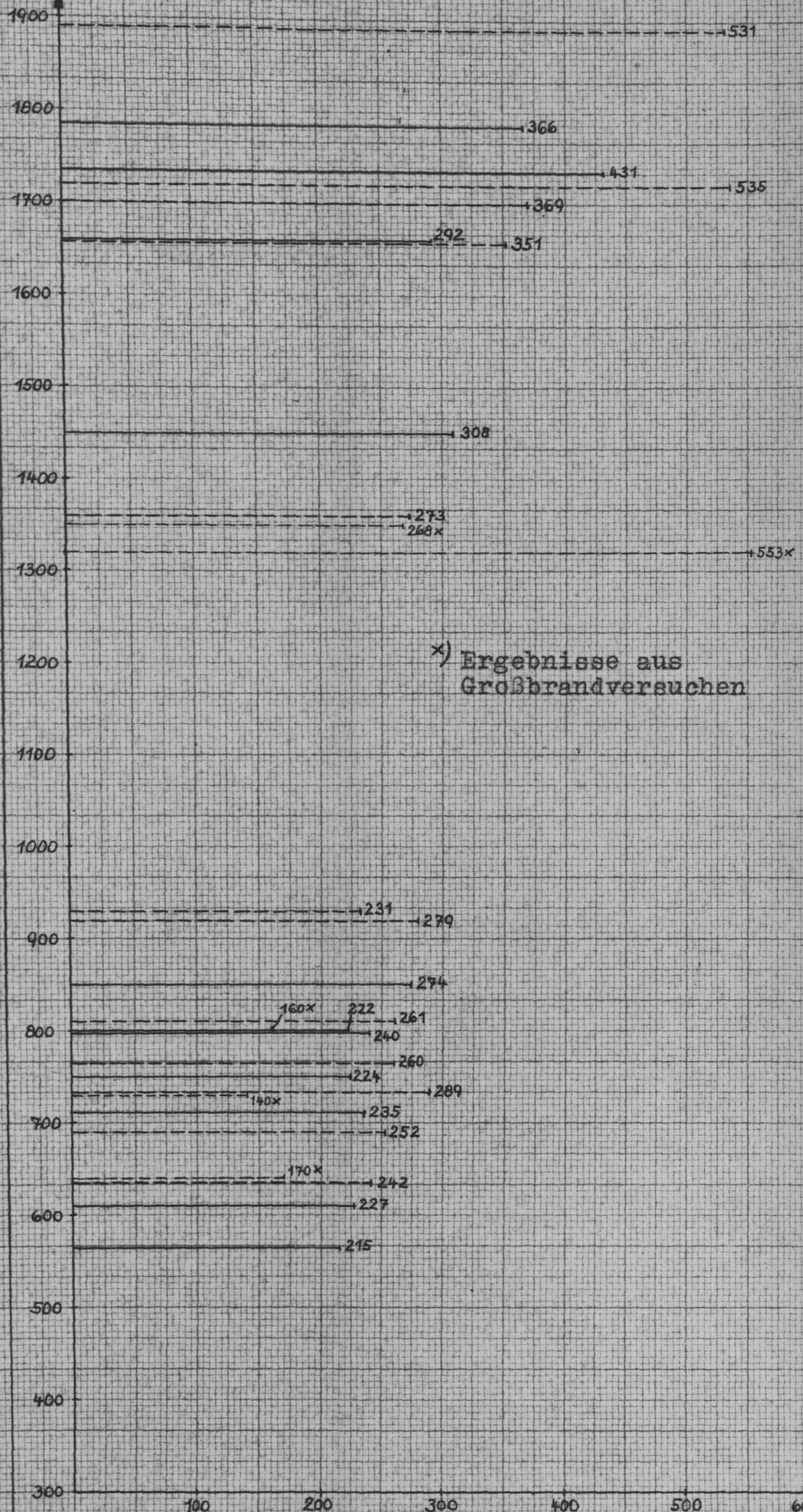
Kalkzementputze
m. Schlackensand

Gipsputze

Spezialputze
auf Kalkbasis

Perlite-Putze

Vermiculite-
Putze



x) Ergebnisse aus
Großbrandversuchen

Kleinbrandversuche an Stahlbetonplatten

Temperaturen an den Stahleinlagen
in Abhängigkeit vom Raumgewicht des Putzes
nach 180 Min.

Alter: — 4 Wochen --- 12 Wochen

Zementputze mit
Schlackensand

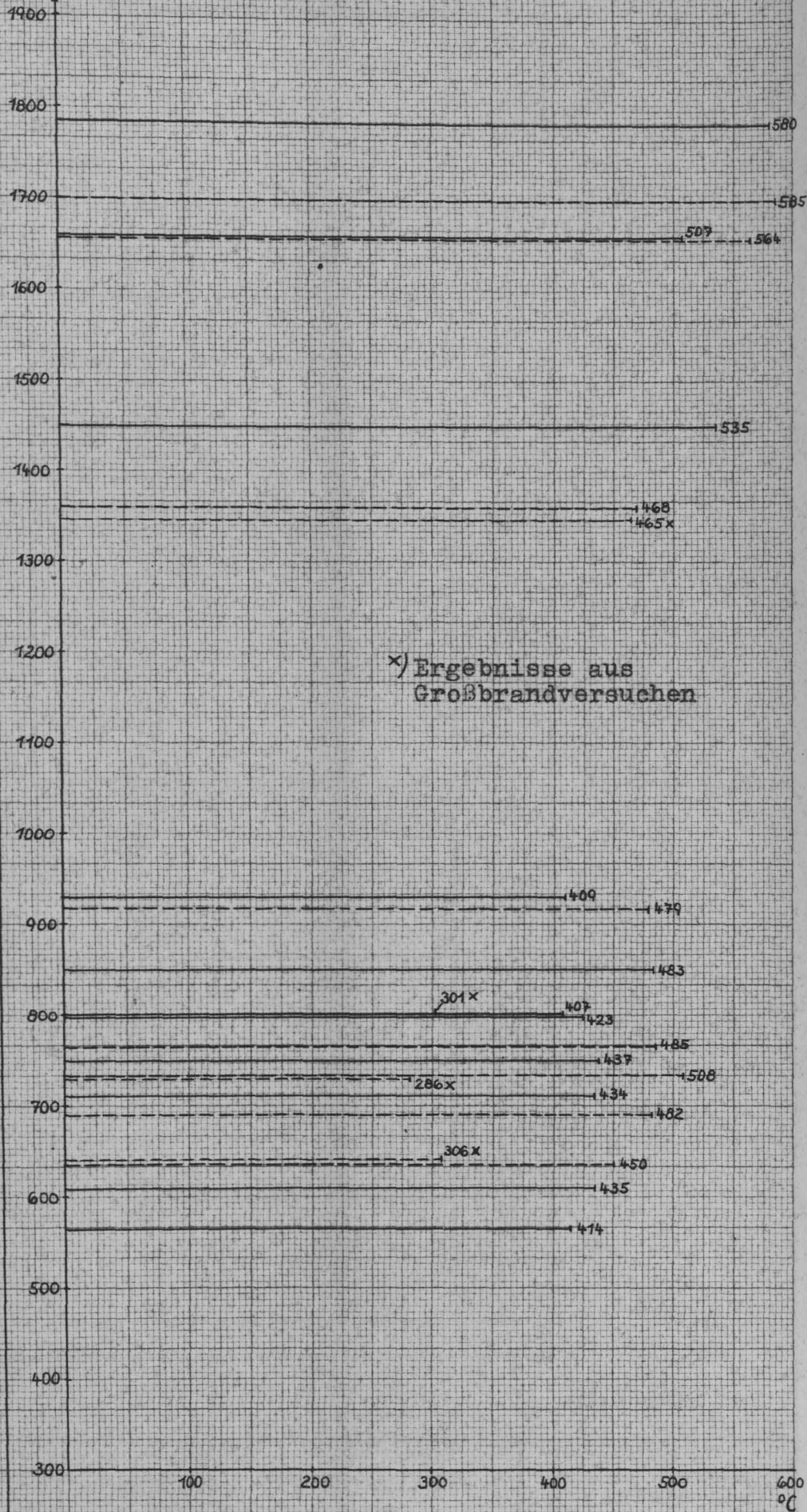
Kalkzementputze
m. Schlackensand

Gipsputze

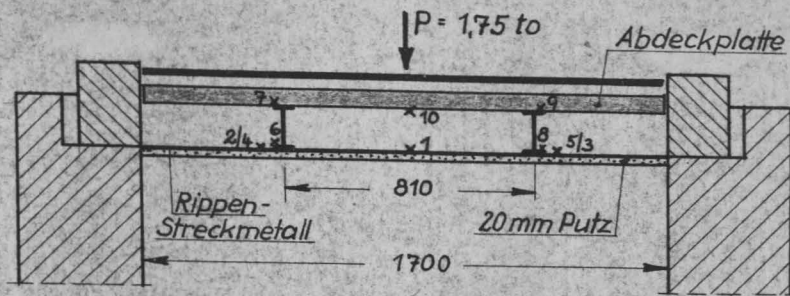
Spezialputze
auf Kalkbasis
Perlite-Putze

Vermiculite-
Putze

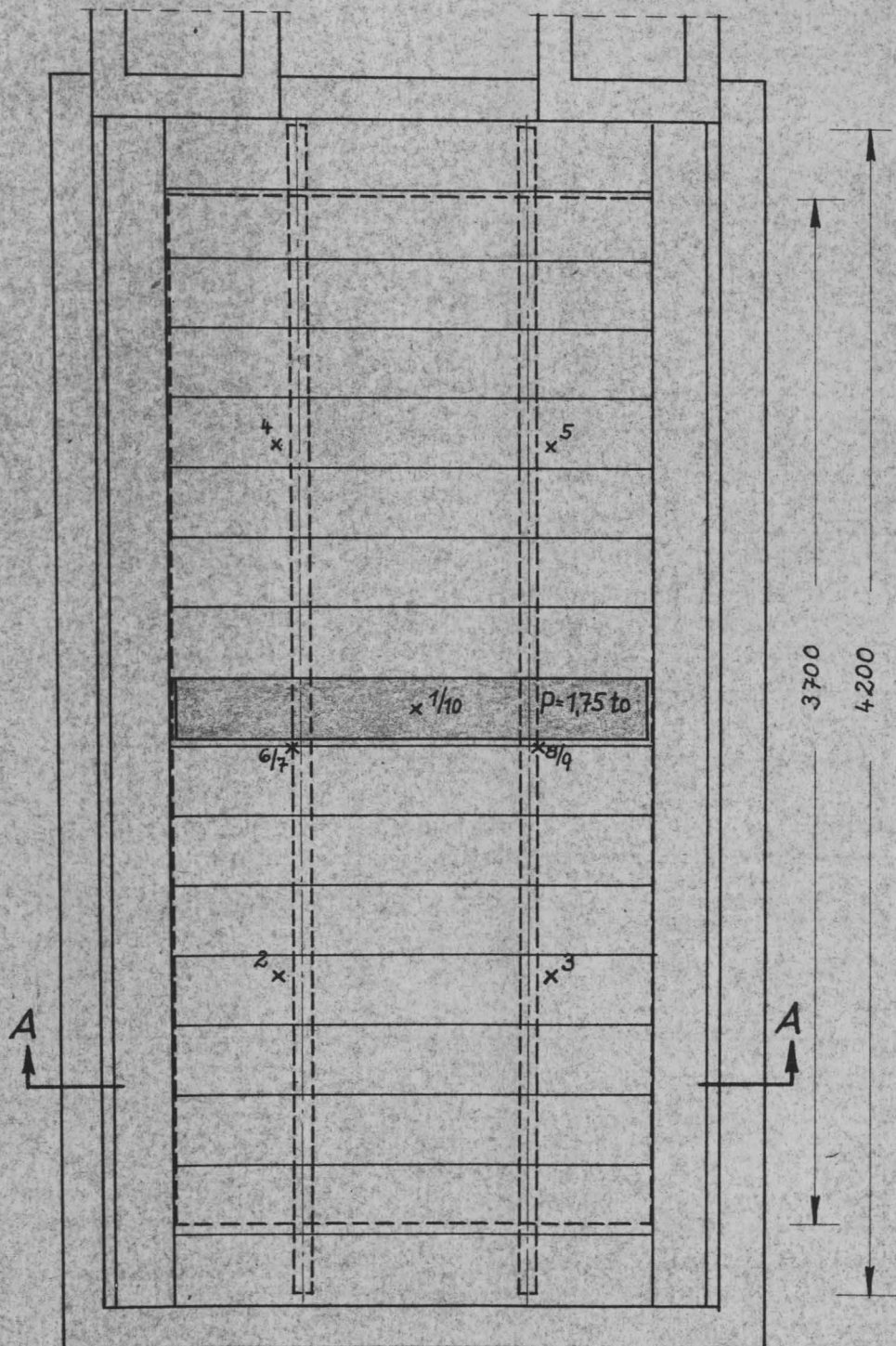
x) Ergebnisse aus
Großbrandversuchen



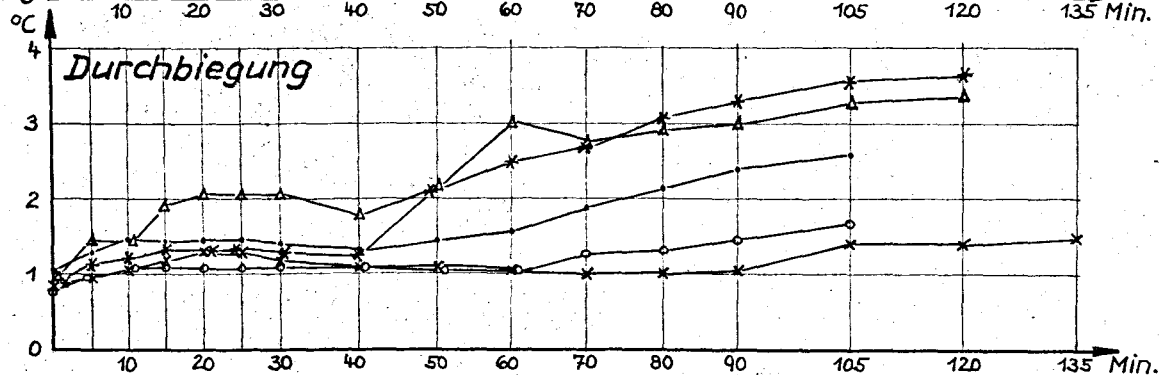
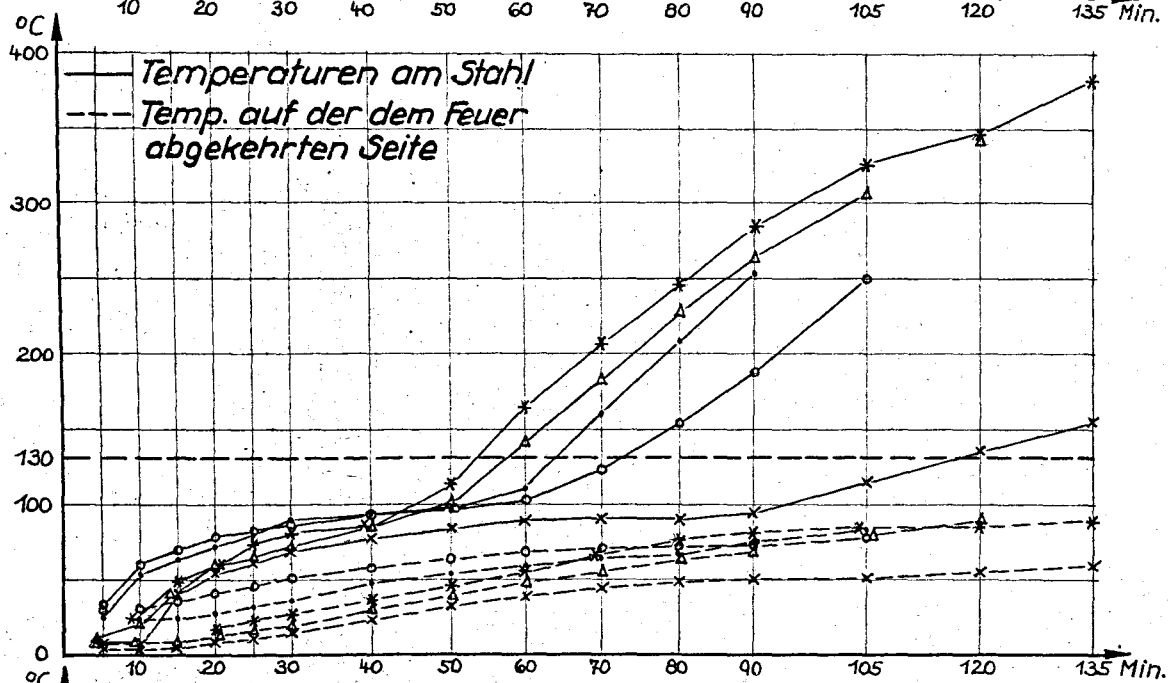
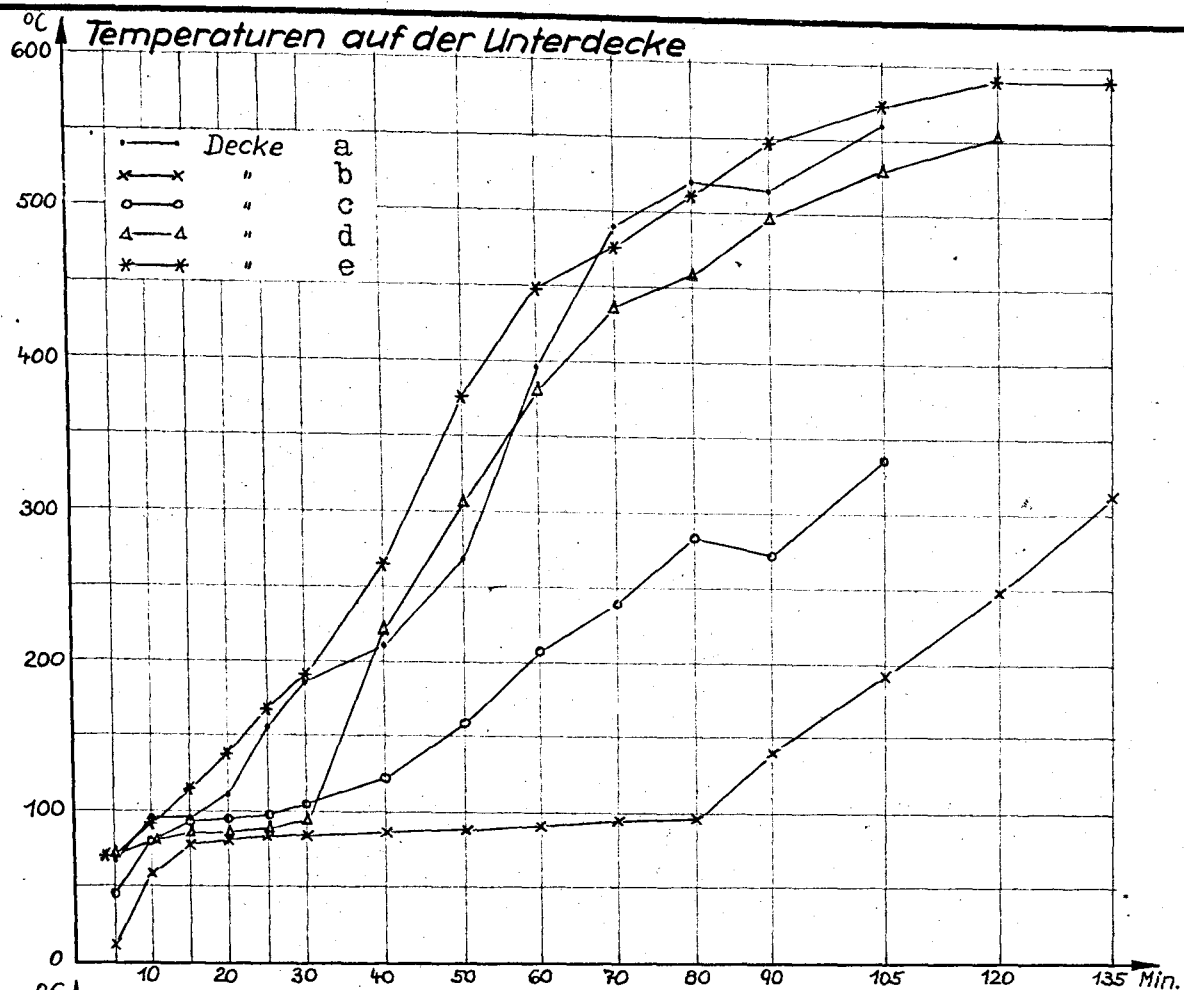
Schnitt A-A



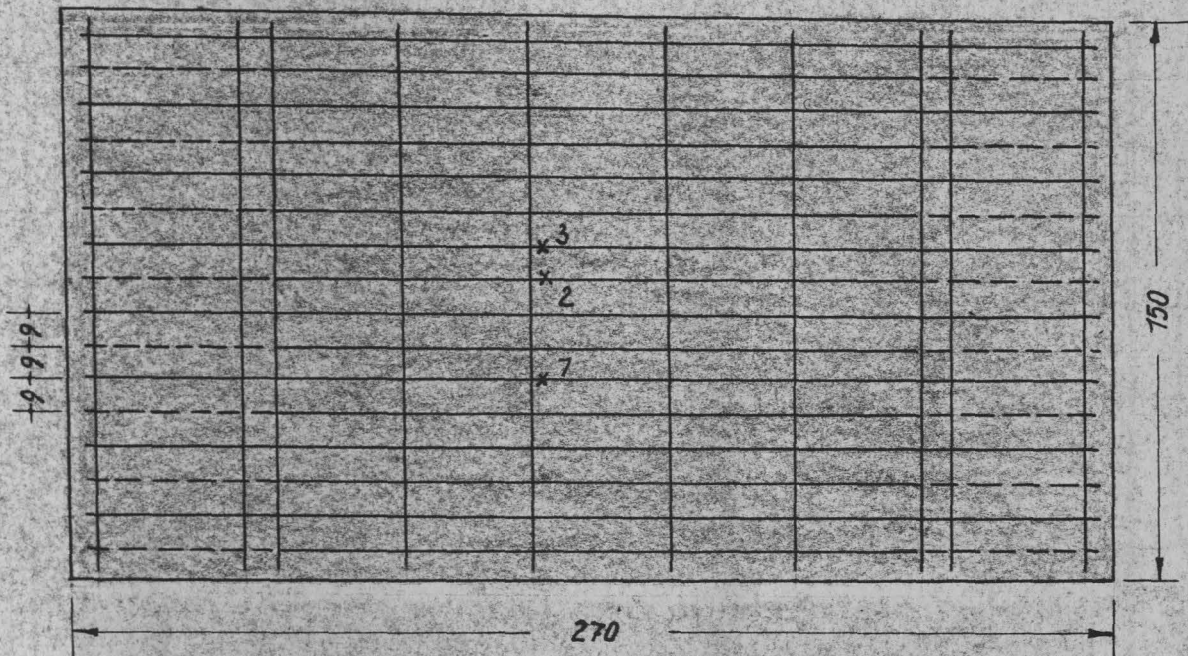
x) 1-10 Temperaturmeßstellen



M. 1:25

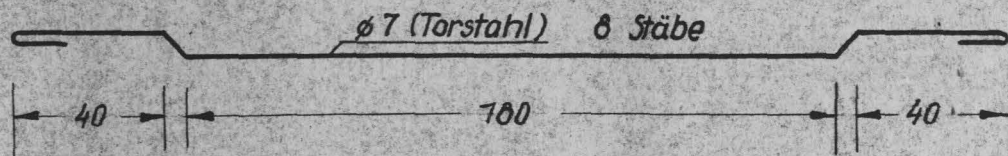
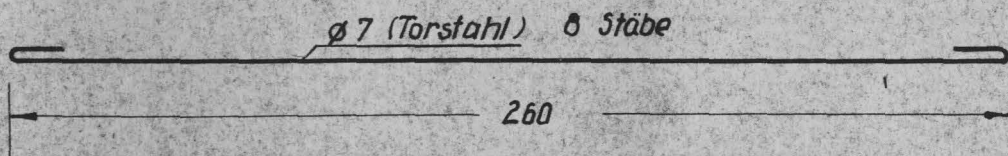
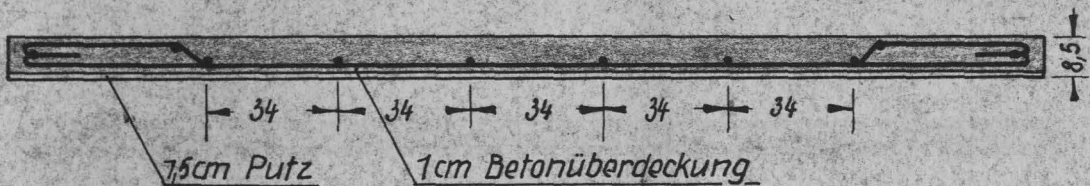


Bewehrungsplan



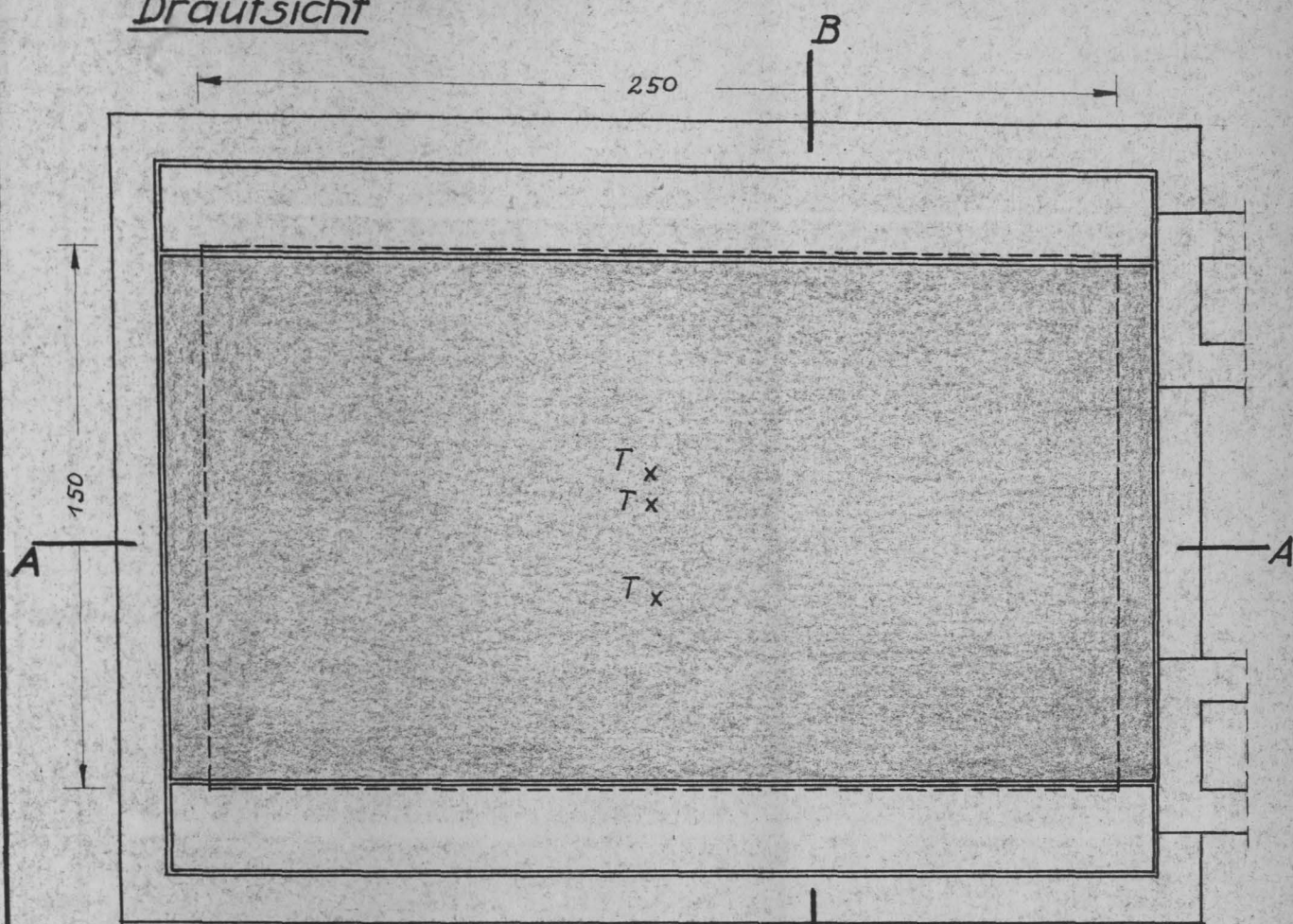
Längsbewehrung 16 ϕ 7mm
 Querbewehrung 3 ϕ 6mm

x) Temperaturmeßstellen an
 den Bewehrungsstäben

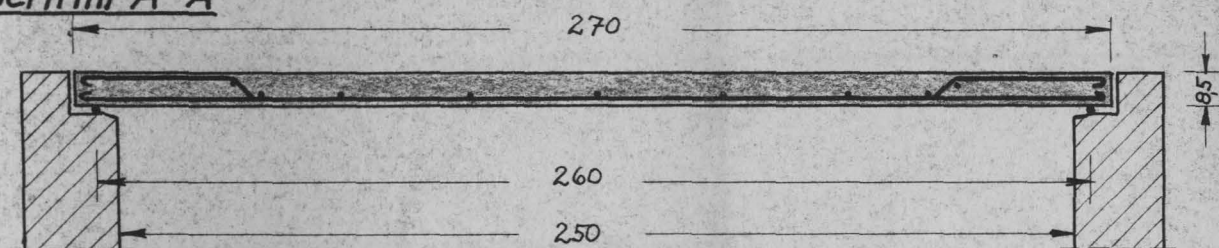


M: 1:20
 Maße in cm

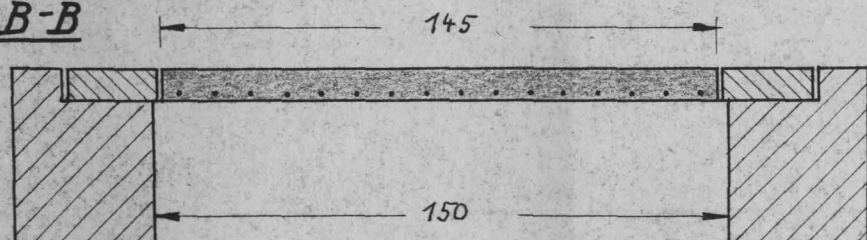
Draufsicht



Schnitt A-A

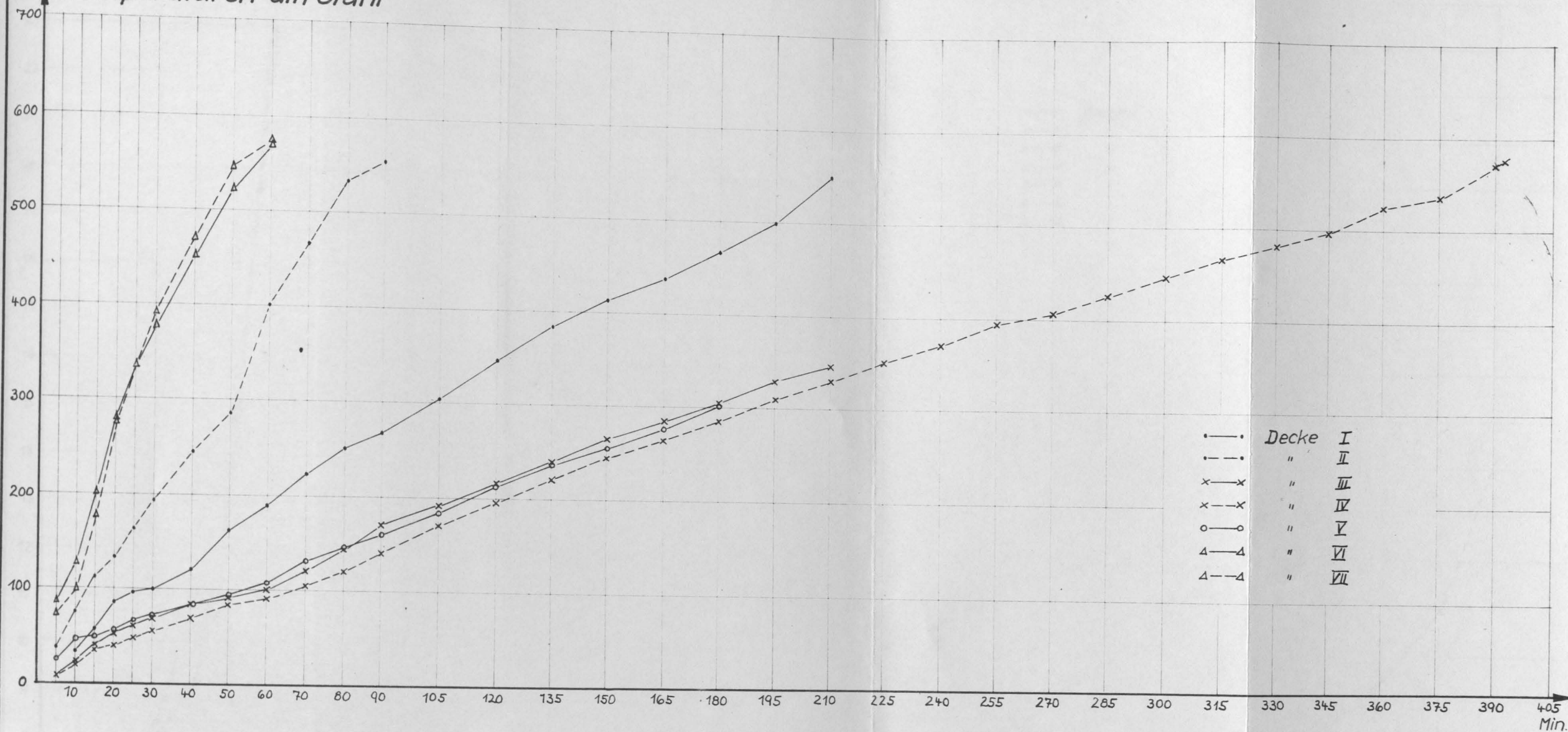


Schnitt B-B



T = Temperaturmeßstellen an den Stahleinlagen

Durchbiegung
Temperaturen am Stahl



Temperaturen auf der dem Feuer abgekehrten Seite

